

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09061610 A**

(43) Date of publication of application: **07.03.97**

(51) Int. Cl.

G02B 5/18
B23K 26/06

(21) Application number: **07305090**

(22) Date of filing: **30.10.95**

(30) Priority:
31.10.94 JP 06292337
01.11.94 JP 06293906
14.11.94 JP 06304289
14.11.94 JP 06304290
24.11.94 JP 06315946
24.11.94 JP 06315947
10.01.95 JP 07 18582
16.06.95 JP 07174442
16.06.95 JP 07174443

(71) Applicant: **NIPPON STEEL CORP**

(72) Inventor:
YAMAGUCHI SATORU
MINAMIDA KATSUHIRO
KIDO MOTOI
SAKAI TATSUHIKO

**(54) BINARY OPTICS, AND LIGHT CONVERGENCE
OPTICAL SYSTEM AND LASER MACHINING
DEVICE USING BINARY OPTICS**

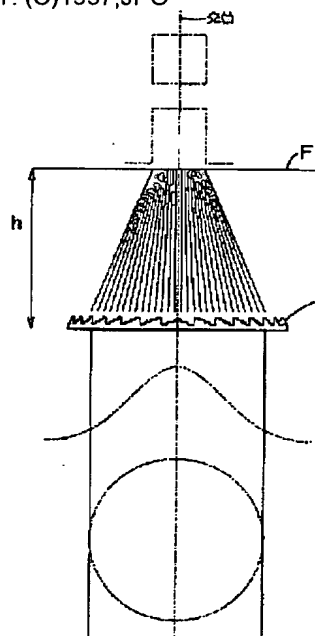
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a binary optics or light convergence optical system which can efficiently obtain a laser beam that is in a desired beam shape such as a rectangular or linear shape and has a uniform intensity distribution from laser light of high-order mode that is in a circular beam shape and has a mountain-shaped intensity distribution, and the laser beam machine which can perform efficient laser machining by using them.

SOLUTION: A laser beam in a desired sectional shape can easily be converted without any loss of energy by the binary optics 1 having the array- directional pitch of diffraction grating at respective positions in an element designed corresponding to the shape and intensity distribution of incident light and the shape and intensity distribution of desired converted projection light and the optical system which uses it, so a laser machining process is made advantageous and efficient machining becomes possible. Further, a laser device of this constitution makes the laser machining

advantageous and makes the highly efficient machining possible.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-61610

(43) 公開日 平成9年(1997)3月7日

(51) IntCl. ⁶	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 5/18			G 0 2 B 5/18	
B 2 3 K 26/06			B 2 3 K 26/06	E Z

審査請求 未請求 請求項の数21 F D (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願平7-305090

(22) 出願日 平成7年(1995)10月30日

(31) 優先権主張番号 特願平6-292337

(32) 優先日 平6(1994)10月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-293906

(32) 優先日 平6(1994)11月1日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-304289

(32) 優先日 平6(1994)11月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 山口 哲

富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技
術開発本部内

(72) 発明者 南田 勝宏

富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技
術開発本部内

(72) 発明者 城戸 基

富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技
術開発本部内

(74) 代理人 弁理士 大島 陽一

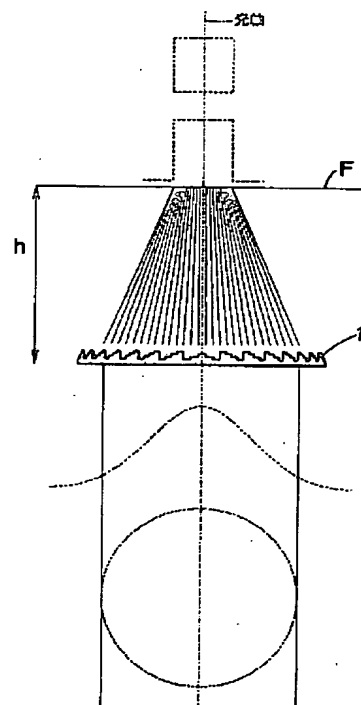
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バイナリーオプティクス及びそれを用いた集光光学系並びにレーザ加工装置

(57) 【要約】

【課題】 ビーム形状が円形で、強度分布が山型の、または高次モードのレーザ光からビーム形状が矩形、線状図形などの所望の形状をなし、強度分布が均一なレーザビームを効率良く得ることが可能なバイナリーオプティクス、または集光光学系を提供すること及びこれらを用いて効果的なレーザ加工を可能とするレーザ加工装置を提供する。

【解決手段】 素子内の各位置に於ける回折格子の配列方向とピッチとが、入射光の形状及び強度分布と、変換したい出射光の形状及び強度分布とに対応させて設計されたバイナリーオプティクス及びこれを用いた光学系により、所望の断面形状を有するレーザビームを容易に、かつエネルギーの損失なく変換することができることから、レーザ加工プロセスを有利にすると共に、効率の高い加工が可能になる。更に、かかる構成のレーザ装置は、レーザ加工プロセスを有利にすると共に、効率の高い加工が可能になる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の各位置に於ける回折格子の配列方向とピッチとが、入射光の形状及び強度分布と、変換したい出射光の形状及び強度分布とに対応させて設計されていることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項2】 中心部で強度が高く点対称となっているレーザビームを、強度が平均化された矩形のビームに変換するための回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の位置Pに於ける回折格子の配列方向は、

前記点Pの位置と、点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の矩形の縦横比とから、レーザビームの光軸と垂直な面内の前記光軸を中心とし、かつ前記点Pを通る円の中心強度を1として光の強度分布を規格化し、

前記円内の光の強度の積分値と等しい面積及び変換したい出射光の縦横比を有し、かつ光軸を中心とする矩形と辺が平行であり、更に前記円に内接する正方形の各頂点により4等分された前記円の前記点Pを含む1/4円が前記点Pで内分される比と同じ比で、前記矩形の前記点Pと前記光軸との間に位置する辺を内分した点Qと前記点Pとを結ぶ方向となっており、

前記回折格子のピッチpが、線分PQの長さをd、光の波長をλ、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離をhとして、

$$\text{【数1】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項3】 中心部で強度の高い円形のビームを強度が平均化された矩形の平行ビームに変換するための集光光学系に於て、

請求項1または請求項2に記載のバイナリーオプティクスを第1のバイナリーオプティクスとし、

所望の図形を得る位置に、前記点Qに於ける回折格子の配列方向が前記点Pと前記点Qとを結ぶ方向であり、かつ回折格子のピッチが前記第1のバイナリーオプティクスの点Pに於ける回折格子のピッチに等しい第2のバイナリーオプティクスを配置したことを特徴とする集光光学系。

【請求項4】 ビームの断面形状が円形のレーザビームを集光して線対称の楕円形、長円形または矩形のビーム断面形状に変換するための回折格子からなるバイナリーオプティクスに於て、

前記回折格子が直線パターンからなり、そのピッチが中心軸から両辺へ向けて対称的に、かつ徐々に狭くなっていることを特徴とするバイナリーオプティクス。

(2)

2

【請求項5】 ビームの断面形状が円形のレーザビームを集光して線対称の楕円形、長円形または矩形のビーム断面形状に変換するための回折格子からなるバイナリーオプティクスに於て、

前記回折格子が中心軸に向けて凸状に湾曲する曲線パターンからなり、そのピッチが該中心軸から両辺へ向けて対称的に、かつ徐々に狭くなっていることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項6】 断面形状が円形をなすレーザビームの光軸と直交する面での強度分布を均一化するための回折格子からなるバイナリーオプティクスに於て、

前記回折格子が同心円パターンからなり、そのピッチが中心軸から両辺へ向けて対称的に、かつ徐々に狭くなっていることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項7】 複数の繰返し要素から構成され、これら各繰返し要素は直線パターンの回折格子からなり、その格子ピッチが前記各要素の互いに平行な中心線に対して対称であり、かつ前記中心線から各要素両辺に向けて徐々に狭くなっているバイナリーオプティクスを、光軸に対して前後に平行となるように、かつ互いの前記中心線が直角になるように配し、その後方に集光レンズを配したことを特徴とする集光光学系。

【請求項8】 レーザビームを一箇所に重畳させて強度分布が平均化された矩形のビームスポットに集光するためのバイナリーオプティクスであって、

$m \times n$ (m, n は正の整数で2以上)の格子状に配されたマトリクス要素からなり、

前記各マトリクス要素は長方形をなすと共に回折格子が設けられ、

前記回折格子の各格子が、前記各マトリクス要素の中心と前記 $m \times n$ の格子の中心とを結ぶ線と直交する方向に延在すると共に格子のピッチ $p(d)$ が、前記各マトリクス要素の中心と前記 $m \times n$ の格子の中心との距離を d 、光の波長を λ 、バイナリーオプティクスから照射基準面までの距離を h として、

$$\text{【数2】 } p(d) = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項9】 中心部で強度が高く点対称のビームを、強度が平均化された所望の形状のビームに変換するべく前記ビームの光軸を中心として該光軸に直交する面に形成された回折格子からなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の或る点Pの位置に於ける回折格子の配列方向は、前記点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の形状とから当該バイナリーオプティクス上に求められる点Qと前記点Pとを結ぶ方向であり、

前記点Qは、当該バイナリーオプティクス上に光軸を原点とする極座標を定義し、

前記面内に原点Oを中心として前記点Pを通る円内の光の強度の積分値を平均化した強度で割った値と等しい面積を有し、かつ前記原点Oを中心として縮小または拡大して得られる前記所望の出射光の形状と相似な図形を描き、

前記点Pと前記原点Oとを結ぶ直線と座標軸と前記円とに挟まれる扇形内の光の強度の積分値と、前記相似図形の辺上の求めるべき点Qと前記原点Oとを結ぶ直線と座標軸と前記相似図形とに挟まれる部分図形内の光の強度の積分値とが一致するように決められており、

当該バイナリーオプティクスの前記回折格子のピッチpが、線分PQの長さをd、光の波長λ、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離hとして、

$$【数3】 p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項10】 中心部で強度が高く点対称のレーザービームを、強度が平均化された所望の閉じた線状のビームに変換するべく前記ビームの光軸を中心として該光軸に直交する面に形成された回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の或る点Pの位置に於ける回折格子の配列方向は、前記点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の形状とから当該バイナリーオプティクス上に求められる点Qと前記点Pとを結ぶ方向であり、

前記点Qは、当該バイナリーオプティクス上に光軸を原点Oとする極座標を定義して前記面内に原点Oを取り囲むように前記変換したい出射光の図形を描き、前記図形上の座標軸から前記点Qまでの距離と前記線状図形の全長との比と、前記点Pと前記原点Oとを結ぶ直線と前記座標軸とに挟まれる扇形内の光の強度の積分値と前記原点Oを中心として前記点Pを通る円内の光の強度の積分値との比が一致するように決められており、

当該バイナリーオプティクスの前記回折格子のピッチpが、線分PQの長さをd、光の波長λ、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離hとして、

$$【数4】 p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項11】 中心部で強度が高く点対称のレーザービームを、強度が平均化された所望の閉じた帯状のビームに変換するべく前記ビームの光軸を中心として該光軸に直交する面に形成された回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の或る点Pの位置に於ける回折格子の配列方向は、前記点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の形状とから当該バ

イナリーオプティクス上に求められる点Qと前記点Pとを結ぶ方向であり、

前記点Qは、当該バイナリーオプティクス上に光軸を原点Oとする極座標を定義して前記原点Oを中心とする開口円Cを描き、変換したい出射光の閉じた帯状図形を前記原点Oを取り囲んで描き、該原点Oから前記点Pを通り、かつ前記開口円Cに達する直線を引き、前記開口円C内の光の強度の積分値を前記閉じた帯状図形の面積で割った値を均一化された強度として前記開口円Cと前記点Pと前記中心Oとを結ぶ直線と座標軸とに挟まれる扇形内の光の強度の積分値と、前記閉じた帯状図形と前記点Qと前記中心Oとを結ぶ直線と座標軸とに挟まれる変換したい出射光の部分図形の面積と均一化された強度の積として与えられる前記部分図形内の光の強度の積分値とが一致し、

かつ前記部分図形の前記点Qによる内分比と、前記点Pと中心Oとを結ぶ線分上の光の強度の積分値と、該線分の延長線と前記開口円Cとの交点と前記点Pとを結ぶ線分上の光の強度の積分値との比が一致するように決められており、

当該バイナリーオプティクスの前記回折格子のピッチpが、線分PQの長さをd、光の波長λ、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離hとして、

$$【数5】 p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項12】 高次モードのレーザービームを、強度が平均化された所望の形状のビームに変換するべく前記ビームの光軸を中心として該光軸に直交する面に形成された回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の或る点Pの位置に於ける回折格子の配列方向は、前記点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の形状とから当該バイナリーオプティクス上に求められる点Qと前記点Pとを結ぶ方向であり、

前記点Qは、当該バイナリーオプティクス上に光軸を原点Oとする極座標を定義して前記面内に原点Oを中心として、前記点Pを通り、かつレーザのモードの対称性と同一対称性を有する図形を描き、更に前記点Pを通る該図形内の光の強度の積分値を平均化した強度で割った値と等しい面積を有し、かつ前記所望の出射光の形状を、前記原点Oを中心として縮小または拡大して得られる相似図形を描き、前記点Pと前記中心Oとを結ぶ直線と、座標軸と、前記図形とに囲まれる部分図形内の光の強度の積分値と、前記相似図形の辺上の点Qと前記中心Oとを結ぶ直線と座標軸と、前記相似図形とに囲まれる部分図形内の光の強度の積分値とが一致するように決められており、

当該バイナリーオプティクスの前記回折格子のピッチp

が、直線PQの長さをd、光の波長 λ 、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離hとして、

$$\text{【数6】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項13】 中心部で強度が高く点対称のビームを、三分割し、強度が平均化された所望の図形のビームに変換するべく前記ビームの光軸を中心として該光軸に直交する面に形成された回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、

当該バイナリーオプティクス上の或る点Pの位置に於ける回折格子の配列方向は、前記点対称の入射光の半径方向の強度分布と、変換したい出射光の形状とから当該バイナリーオプティクス上に求められる点Qと前記点Pとを結ぶ方向であり、

前記点Qは、該点Qが前記第1の原点Oを含む第1の領域内にある場合には、当該バイナリーオプティクス上に光軸を第1の原点Oとする第1の極座標を定義し、該第1の極座標の座標軸と垂直に、前記第1の原点Oを中心に対称な平行線を引き、レーザビームの断面を三分割し、前記平行線の外側の前記座標軸上に第2の原点O'及び第3の原点O''を定義し、前記面内に前記第1の原点Oを中心として、前記点Pを通る円を描き、前記点Pを通る円内に前記平行線内の光の強度の積分値を平均化した強度で割った値と等しい面積を有し、かつ所望の図形の出射光の形状を、前記第1の原点Oを中心として縮小または拡大して得られる相似な図形を描くと共に前記第2の原点O'及び第3の原点O''を中心として前記同様なる所望の図形の出射光の形状を縮小または拡大して得られる相似な図形を描き、前記点Pと前記中心とを結ぶ直線、前記座標軸、前記円及び前記平行線に囲まれる領域内の光の強度の積分値と、前記相似図形の辺上の点Qと前記中心とを結ぶ直線、前記座標軸及び前記相似図形に囲まれる部分図形内の光の強度の積分値とが一致するように決められており、

前記点Qが前記第2の原点O'を含む第2の領域内にある場合には、前記第1の原点Oと前記第2の原点O'とを入れ代えて前記同様に決められており、

前記点Qが前記第3の原点O''を含む第3の領域内にある場合には、前記第1の原点Oと前記第3の原点O''とを入れ代えて前記同様に決められており、

当該バイナリーオプティクスの前記回折格子のピッチpが、線分PQの長さをd、光の波長 λ 、当該バイナリーオプティクスから所望の図形を得る位置までの距離hとして、

$$\text{【数7】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / d^2)}$$

として表されることを特徴とするバイナリーオプティクス。

【請求項14】 前記曲線パターンが共焦点双曲線群

となっていることを特徴とする請求項5に記載のバイナリーオプティクス。

【請求項15】 前記回折格子のピッチが、中心軸から両辺に向けて入射光線の強度分布に応じて徐々に狭くなっていることを特徴とする請求項4乃至請求項6のいずれかに記載のバイナリーオプティクス。

【請求項16】 前記回折格子の各格子間のピッチp(r)が、 λ を光の波長、hを照射基準面までの距離、rを中心からの距離として入射光強度分布I(r)に対して、

$$\text{【数8】 } p(r) = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / (r^2 (1 - \sqrt{(1 - I(r))})))^2)}$$

として表されることを特徴とする請求項6若しくは請求項15に記載のバイナリーオプティクス。

【請求項17】 請求項9乃至請求項12のいずれかに記載のバイナリーオプティクスを第1のバイナリーオプティクスとし、

所望の図形を得る位置に、前記点Qに於ける回折格子の配列方向が前記点Pと前記点Qとを結ぶ方向であり、かつ回折格子のピッチが前記第1のバイナリーオプティクスの点Pに於ける回折格子のピッチに等しい第2のバイナリーオプティクスを配置したことを特徴とする集光光学系。

【請求項18】 請求項1乃至請求項17のいずれかに記載のバイナリーオプティクス若しくは集光光学系を集光光学系として備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項19】 請求項4、請求項5、請求項14乃至請求項16のいずれかに記載のバイナリーオプティクスを一對、前記中心軸が互いに直交する方向に延在するように入射光軸に対して前後配置した集光光学系を備えることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項20】 請求項6若しくは請求項16に記載のバイナリーオプティクスが、入射端側にその中心と光軸とが一致するように配置され、

前記バイナリーオプティクスにより回折されたレーザ光の光軸と直交する面での強度分布が均一となる位置に該レーザ光を平行光線に変換する別のバイナリーオプティクスが配置された集光光学系を備えることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項21】 前記各バイナリーオプティクス同士は、その回折方向が逆であり、かつそのピッチが前記各バイナリーオプティクス間を結ぶ同じ光線の通過する位置にて互いに等しくなっていることを特徴とする請求項20に記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザ光の強度分布を平均化して所望の形状にビーム整形する光学素子及びそれを用いた集光光学系及びそれを用いてより望まし

い加工を施すことを可能とするレーザ加工装置に関し、またレーザ光を三本のビームに分割し、各々のビームの強度分布を平均化し所望の図形の形状にビーム整形する光学素子及びそれを用いて前照射、後照射を施すことを可能とするレーザ加工装置に関する。

【0002】

【従来の技術】バイナリーオプティクスはガラス基板の表面に刻まれた回折格子により集光する光学素子である

(G. J. Swanson et al., US Patent 4895790, (1990))。図44(a)及び図44(b)に示すように、バイナリーオプティクス101の断面の構造は光の波長オーダーの階段状になっており、進行する光の波面は階段の厚みの違いによりその進行方向が変えられる。即ち、光の透過長が隣の階段と異なるために、光の位相がずれ、光の干渉効果により回折して光路が曲げられる。階段の繰り返しピッチは光路長を一波長だけ違える幅として与えられる。YAGレーザ光を集光する目的のバイナリーオプティクスはその階段構造として幅が数 μm 、厚さが1 μm 程度のものである。通常のバイナリーオプティクス101は図44(a)のように同心円状のパターンからなり、凸レンズのような単レンズの機能を有している。凸レンズ機能のバイナリーオプティクスは、入射した平行光線を一点につまり焦点に集めるように働く。このような機能を有するバイナリーオプティクスのピッチ $p(r)$ と中心からの距離 r との関係は、例えば、

【数9】 $p(r) = \lambda \sqrt{1 + f^2 / r^2}$

として表される。ここで、 λ はレーザ光の波長、 f は焦点距離である。このようなバイナリーオプティクスにビームの断面形状が円形のレーザ光を入射すると、バイナリーオプティクスからの出射光はどの位置においてもビーム形状が円形であり、強度分布はやはりガウス型である。

【0003】レーザ発振器を用いてレーザ加工を行う場合、単にレーザ光を集束して照射することが一般的である。この場合、通常は集束されたビームスポット形状は円形であるが、加工する対象によってはビーム形状が円形以外の所望の形状、例えば矩形であり、かつその強度分布が可及的に均一になっていることが望ましいことがある。その場合にはレーザ光をビーム拡大した後、矩形の形状をした開口を通し、レンズで集束して矩形のビームスポット形状を得ていた。

【0004】しかしながら、この方法では開口を通してビームの中央部分の強度の高い部分のみを取り出していたため、開口から外れた光線はロスとなり効率の面で問題があった。しかも開口の形状によっては強度が不均一になり易い。

【0005】また、例えばレーザ光によるマーキングを行う場合にもビームを拡大してマスクを通す際に各部分に光強度むらを生じ、中央の強度の高い部分のみマスクに通すと光の損失が著しく大きくなり、効率が低下しが

ちであった。

【0006】更に、インテグレーションミラーと呼ばれる多数の矩形の形状をしたミラーをマトリクス状に配列し、レーザ光をビーム拡大した後、入射して、各ミラーによる反射光の光軸が全て一箇所に重なり合うようにし、矩形のビームスポット形状を得ることも考えられるが、各ミラーの光軸合わせが難しいという問題があった。

【0007】加えて、レーザ光強度の空間分布を表す横モードはこのようなきれいなガウシアン分布を有するTEM₀₀モードばかりではない。特に、レーザ出力が大きくなると、高次のモードで発振しやすく、マトリクス状の斑点模様の形状を有するTEM_{mn}モードやドーナツ状のリングモードであるTEM₀₁モードになりがちである。このようなモードのレーザ光はうまく集束させることが困難であった。

【0008】一方、一般にレーザ発振器を用いてレーザ加工を行う方法としては単にレーザ光を集束して照射する方法が用いられていた。また、通常は集束されたビームスポット形状は円形であり、しかも、強度分布が均一ではないので、照射中あるいは走査中に、場所によって照射強度にムラが生じ、効率性や仕上がりに影響して、溶接箇所が波を打ったようになりがちであった。このように、溶接加工に於てはビーム形状が矩形で均一に照射できることが望ましい。更に、前照射により予め加熱しておき本照射で溶接し、後照射で焼きなましができるレーザ溶接加工が望ましい。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、かかる状況に鑑みなされたものであり、ビーム形状が円形で、強度分布が山型の、または高次モードのレーザ光からビーム形状が矩形、線状図形などの所望の形状をなし、強度分布が均一なレーザビームを効率良く得ることが可能なバイナリーオプティクス、または集光光学系を提供すること及び上記バイナリーオプティクス、または集光光学系を用いて効果的なレーザ加工を可能とするレーザ加工装置を提供することを第1の目的とする。また、レーザ光を3本のビームに分割し、各々のビームを強度分布が均一でビーム形状が所望の図形のレーザビームを効率良く得ることができるバイナリーオプティクスを提供すること及び前照射、本照射、後照射により効果的なレーザ溶接加工を可能とするレーザ加工装置を提供することを第2の目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明では、回折格子よりなるバイナリーオプティクスに於て、当該バイナリーオプティクス上の各位置に於ける回折格子の配列方向とピッチとが、入射光の形状及び強度分布と、変換したい出射光の形状及び強度分布とに対応させて設計されていることを特徴とするバイ

ナリーオプティクス及びこれを用いた集光光学系並びにレーザ加工装置を提供する。

【0011】レーザ発振器から出射したレーザ光は細いので、例えば焦点距離の異なる2枚のレンズを組合せることにより構成されるビーム拡大器を通じて拡大され、平行光に変換された後、バイナリーオプティクスに到達して回折される。その回折格子のピッチを p とすると、平行光線が通過したときに、

$$\text{【数10】 } \cot^{-1} \sqrt{(p/\lambda)^2 - 1}$$

の回折角だけ、進行方向を回折格子の配列方向、即ち格子の延在方向と直交する方向にに変えたビームに変換される。いま、レーザビームがガウス型の強度分布を持つとすると、バイナリーオプティクスを通過したとき、中央部で高く周辺部で低い強度分布からなるレーザビームは、バイナリーオプティクスに刻まれたパターンにより、各位置でそれぞれの方向に光の進行方向が変えられ、バイナリーオプティクスから距離 h だけ離れた所望の図形を得る位置 F では、変換したい出射光の形状及び強度分布のレーザビームスポットが得られる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。図1に本発明の第1の実施例に於けるバイナリーオプティクスによる光路変換の模式図を示す。このバイナリーオプティクス1は半導体微細加工技術を利用し、石英基板（直径100mm）にマスクをかけ露光した後、エッチングして図1に示すような断面形状に作製される。

【0013】このようなバイナリーオプティクス1に入射する光源としては平均出力10Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。レーザ光はビーム形状が円形をなし、バイナリーオプティクス1に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス1の中心 O と一致するように入射する。その入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布となっている。

【0014】

$$\text{【数11】 } I(r) = a \exp(-b r^2)$$

【0015】バイナリーオプティクス1上の点 P （図2（a））に入射した光線は、回折されて、バイナリーオプティクス1から距離 h だけ離れた位置（図1の所望の図形を得る位置 F ）に到達し、その基準面内にて、バイナリーオプティクス1上の点 Q （図2（a））を光軸と平行に距離 h だけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が任意の図形でありパワー密度分布が平均化され、しかも均一なビームプロファイルを得るように点 Q を決めてやれば良い。光線が面 F 上の点 Q に対応する位置に到達するためには、バイナリーオプティクスの点 P に於ける回折格子の配列方向、即ち格子の延在方向を線分 PQ の方向に一致させ、回折格子のピッチ p

を、

$$\text{【数12】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$$

とすれば良い。ここで、 d は距離 PQ である。

【0016】また、照射基準面の位置でビーム形状が矩形であり強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るための点 P と点 Q の関係は次のように決められる。すなわち、図2（a）に於て、

【0017】1. レーザビームの光軸と垂直な面内に、光軸 O を中心として、 P を通る円 C を描く。

2. 中心強度を1として光の強度分布（図2（b）参照）を規格化し、円 C 内の光の強度の積分値と等しい面積を有し、変換したい出射光の縦横比を有する矩形 $B_1 B_2 B_3 B_4$ を、光軸 O を中心として描く。

3. 光軸 O を中心として、矩形 $B_1 B_2 B_3 B_4$ と辺が平行で、円 C に内接する正方形 $A_1 A_2 A_3 A_4$ を描き、その各頂点により円 C を4等分する。

4. 上記正方形の各された点 P を含む1/4円 $A_1 A_4$ が、点 P で内分される比（ $m:n$ ）と同じ比で、点 P に対する矩形の辺 $B_1 B_4$ を内分した点を Q とする。

【0018】以下、式 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$ に従って、点 P に入射した光線が点 Q に到達するように、バイナリーオプティクス1の点 P に於ける回折格子の配列方向を線分 PQ の方向に一致させ、回折格子のピッチ p を決めてやれば良い。1/4円の扇型 $O A_1 A_4$ 内の任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチを決めてやれば、1/4円の扇型 $O A_1 A_4$ 内に入射したレーザ光を、形状が三角形 $O B_1 B_4$ で強度分布が平均化された均一なビームスポットに変換できる。他の1/4円についても同様に変換されるので、結局、円 C 内に入射した強度分布がガウス型（図2（b）参照）のレーザ光は、形状が矩形 $B_1 B_2 B_3 B_4$ で強度分布が平均化され均一（図2（b）参照）なビームスポットに変換される。

【0019】このように、バイナリーオプティクスの回折格子のピッチを、入射光線の強度分布とバイナリーオプティクス上の位置に応じて定めてやることにより、所望の図形を得る位置 F の位置に於て均一な強度分布のビームプロファイルが得られる。また、このようなレーザ光を用いて表面処理加工ができる。

【0020】図3に本発明の第2の実施例に於ける2枚のバイナリーオプティクス1、2による光路変換の状態を模式的に示す。本実施例は図2に於ける所望の図形を得る位置 F の位置に第2のバイナリーオプティクス2を配置するものであり、第2のバイナリーオプティクス2に入射した光線はこれにより平行光に戻される。第2のバイナリーオプティクス2の点 Q の位置（図2（a））には対応する第1のバイナリーオプティクス1の点 P の位置（図2（a））のピッチ p と同じピッチであり回折格子の配列方向が線分 QP の向きに一致する回折格子を作っておけば、平行光に戻すことができる。ここで、第2のバイナリーオプティクス2の階段の傾きは第1のバ

イナリーオブティクス 1 とは反対向きであることに注意する必要がある。こうして、第 2 のバイナリーオブティクス 2 からの出射光としてそのビームプロファイルの強度分布が均一でビーム形状が矩形のものが得られる。

【0021】このように構成されたバイナリーオブティクスに、図 4 のように平行光線を集束するレンズ 3 を組み合わせた光学系を備えたレーザ加工装置により、スポット溶接加工ができる。

【0022】尚、図 4 の第 2 のバイナリーオブティクス 2 の出射光の位置には別の形状の開口を設けることもできる。これをレンズ 3 で絞ってパワー密度（強度）分布が均一な別の形状を与えるビームスポットが得られる。このようなレーザ光を用いて焼き入れ加工やリベア加工ができる。また、矩形の形状や、各種形状の開口により、異形の模様を与えるレーザ加工ができる。更に図 4 の第 2 のバイナリーオブティクス 2 の出射光の位置にマスク（図示せず）を置いて、マスクに描かれた模様を対象物にマーキングすることもできる。

【0023】図 5 (a) 及び図 5 (b) に本発明に基づく第 3 の実施例に於けるバイナリーオブティクス 11 の模式図を示す。このバイナリーオブティクス 11 には直線パターンからなる回折格子が設けられ、そのピッチが、図の上下方向に延在する中心軸 L1 から両辺（左右）へ向けて徐々に狭くなっており、かつ中心軸 L1 について軸対称となっている。この結果、左右方向に延在する中心軸 L2 についても軸対称となる。格子ピッチ $p(r)$ と中心軸からの距離 r との関係は、

$$【数 13】 p(r) = \lambda \sqrt{(1 + f^2 / r^2)}$$

として与えられている。

【0024】このバイナリーオブティクス 11 に入射する光源としても上記同様平均出力 100W のレーザ加工用の Nd:YAG レーザが用いられる。レーザ光はバイナリーオブティクス 11 に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオブティクス 11 の中心 O と一致するように入射する。その入射光強度分布 $I(r)$ も、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、以下に示すようなガウス型強度分布となっている。

【0025】

$$【数 14】 I(r) = a \exp(-b r^2)$$

【0026】これをバイナリーオブティクス 11 を通過させることによりその出射光として円形断面のビームが線対称の楕円または長円断面に変換されたビームスポットが得られる。即ち、バイナリーオブティクス 11 をレーザ光が通過したとき、ビームの光軸を通る（中心軸 L1 と一致する）中心軸からの距離に応じて、両辺部の光をより中央に引き寄せるように回折させれば、中心軸と垂直な方向についてはより均一な強度分布からなるレーザビームに変換されることとなる。そのために、バイナリーオブティクス 11 の回折格子のピッチ $p(r)$ を、

$$【数 15】 p(r) = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / (r^2 (1 - \sqrt{1 - h^2 / r^2})))}$$

(r)²)

として回折格子のピッチを、中心軸 L1 から両辺へ入射光線の強度分布に応じて徐々に狭くする。

【0027】図 6 は、本発明に基づく第 4 の実施例に於けるバイナリーオブティクス 12 の模式図である。本実施例ではバイナリーオブティクス 12 の回折格子が、図の上下方向に延在する中心軸 L1 に向けて凸状に湾曲する曲線パターンからなる。そのピッチ $p(r)$ と中心軸からの距離 r との関係は、第 3 の実施例と同様に与えられ、中心軸 L1 から両辺（左右）へ向けて徐々に狭くなっており、かつ中心軸 L1 について軸対称となっている。この結果、左右方向に延在する中心軸 L2 についても軸対称となる。また、回折格子のパターン幅は中心軸 L2 から離れるに従って連続的に拡大している。実際には曲線パターンは特に共焦点双曲線群となっており、ときに効果的に円形断面のビームを線対称の楕円または長円断面に変換できる。

【0028】図 7 は一対のバイナリーオブティクス 14、15 を用いた集光光学系の配置を示す模式的斜視図であり、図の下側をレーザ光の入射側とし入射側上方から出射側を見たものである。これらバイナリーオブティクス 14、15 は共に上記第 4 の実施例で示したバイナリーオブティクスと同様な構造を有し、中心軸 L1 同士が互いに直交すると共に中心 O が共に入射レーザ光の光軸と一致するように前後配置され、集光光学系を構成している。

【0029】この集光光学系に入射したレーザ光はバイナリーオブティクス 14 に入射して中心縦軸 L1 に向かって横軸の向きに回折され、即ち図における縦長の円に変形される。ついで、バイナリーオブティクス 15 に入射して今度は中心横軸 L2 に向かって縦軸の向きに回折され、矩形状のスポット 16 が得られる。更に、本光学系を備えた図示されないレーザ加工装置により、スポット溶接加工や焼き入れ加工、リベア加工等が効率良くできる。

【0030】図 8 に本発明に基づく第 5 の実施例に於けるバイナリーオブティクス 21 の光路変換の状態を模式的に示す。このバイナリーオブティクス 21 には同心円パターンからなる回折格子が設けられ、そのピッチが、図の上下方向に延在する中心 O から外周へ向けて徐々に狭くなっている。

【0031】このようなバイナリーオブティクス 21 に入射する光源としては上記同様平均出力 100W のレーザ加工用の Nd:YAG レーザが用いられる。レーザ光はバイナリーオブティクス 21 に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオブティクス 21 の中心 O と一致するように入射する。その入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心（光軸）からの距離、 a 及び b を係数として、下記に示すようなガウス型強度分布となっている。

【0032】

【数16】 $I(r) = a \exp(-b r^2)$

【0033】これをバイナリーオプティクス21に通過させることによりその出射光として或る位置で均一な強度分布となるビームを得る。ここで、バイナリーオプティクス21から光軸に沿って距離hだけ離間した位置Sに於て中心（光軸）からの距離を r' とすると、この位置Sで均一な強度のビームを得るためには、

【数17】 $r' = r \sqrt{(a \exp(-b r^2))}$

となっていれば良い。そのためには、バイナリーオプティクス21の回折格子のピッチ $p(r)$ を、

【数18】 $p(r) = \lambda \sqrt{(1 + h^2 / (r^2 (1 - \sqrt{I(r)}))^2)}$

として回折格子のピッチを、中心Oから外周に向けて入射光線の強度分布に応じて徐々に狭くすれば良い。尚、図8の符号22は位置Sに於けるビームプロファイルである。

【0034】図9は、上記第6の実施例に於ける一対のバイナリーオプティクス23、24を用いた集光光学系の配置を示す模式的斜視図であり、図の下側をレーザ光の入射側としている。バイナリーオプティクス23は上記実施例で示したバイナリーオプティクスと同様な構造を有している。また、バイナリーオプティクス24は、バイナリーオプティクス23の出射側にバイナリーオプティクス23からhだけ離間した位置、即ち上記Sの位置にその中心Oが共に入射レーザ光の光軸と一致するように設けられており、バイナリーオプティクス23で集光した光を再び平行光に戻すべく、バイナリーオプティクス23のrの位置に対応するバイナリーオプティクス24の r' の位置での階段のピッチが同じで傾斜方向が逆のコリメータの役割を有している。

【0035】この集光光学系に入射したレーザ光はバイナリーオプティクス23に入射して中心Oに向かって回折される。ついで、均一な強度のビームとなる位置Sに配置されたバイナリーオプティクス24に入射して平行光にされる。その後任意の位置で集光させる光学系と組み合わせることで例えばスポット溶接加工用のレーザ加工装置に用いることができる。尚、図9の符号25は位置Sに於けるビームプロファイルである。

【0036】一方、上記構成ではビームの断面形状が円形であるが、図10に示すように矩形の開口26aを有するマスク26及び集光レンズ27を組み合わせることにより、矩形ビームが得られる。これを備えた図示されないレーザ加工装置により、スポット溶接加工や焼き入れ加工、リペア加工等が効率良くできる。

【0037】また、図11に示すようなマスク28及び集光レンズ29を組み合わせることにより、マスク28の開口28aの形状に応じた模様を図示されない対称物に効率的にマーキングすることが容易にできる。

【0038】図12(a)、図12(b)に本発明に基

づく第7の実施例に於けるバイナリーオプティクス31の構造及びその光路変換の状態を模式的に示す。また、図13(a)、図13(b)にバイナリーオプティクス31の各要素31aの光路変換の状態を模式的に示す。バイナリーオプティクス31はm個（本実施例では7個）の繰り返し要素31aを有し、各繰り返し要素31aには同一のパターンが刻まれている。

【0039】バイナリーオプティクス31の各要素31aには直線パターンからなる回折格子が設けられている。そのピッチは、図の上下方向に延在する中心軸Lから両辺（左右）へ向けて徐々に狭くなっており、かつ中心軸Lについて軸対称となっている。格子ピッチ $p(d)$ と中心線軸からの距離dとの関係は、

【数19】 $p(d) = \lambda \sqrt{(1 + f^2 / d^2)}$

として与えられている。

【0040】図14に上記同様な2枚のバイナリーオプティクス31、32を、光軸に対して前後に互いに平行に、かつ各バイナリーオプティクス同士の上記中心線Oが互いに直交するように90度回転させて配した図である。この場合、平行光線が入射すると、 $m \times m$ 本のビームに拡がって出射する。

【0041】このような一対のバイナリーオプティクス31、32に入射する光源としては上記同様な平均出力100Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。レーザ光はバイナリーオプティクス31に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス31の中心Oと一致するように入射する。そのビーム形状は円形であり（図15(b)）、入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布となっている。

【0042】

【数20】 $I(r) = a \exp(-b r^2)$

【0043】そして、図15(a)に示すように、バイナリーオプティクス31、32の後方に集束レンズ33を配し、 $m \times m$ 本（図15では 5×5 本）の光軸がレンズ33の焦点Pで交わるようにする。従って、 $m \times m$ 個に分割されたビームは重なり合って、強度が平均化され、かつビーム形状も矩形のビームスポットが得られる。ここで、レーザ光はバイナリーオプティクスを通過するとビームの大きさに応じた 5×5 個の要素ごとに拡がり、各々が 5×5 本のマルチビームに変換される。各ビーム要素はビーム形状が矩形であり、各々光軸を持つことになる。

【0044】更に、集束レンズ33を用いて絞ると、各ビーム要素の光軸はレンズの焦点Pに集まり、その位置に 5×5 個のビーム要素を重畳させることができる。その位置におけるビームスポットの形状はビーム要素の形状を反映して矩形であり、ビームプロファイルは、各ビーム要素が重ね合わされた結果均等に平均化されて強度

分布が均一なものが得られている。2枚のバイナリーオプティクスを繰り返し要素の幅を遅えることにより、任意の形状の長方形の形状のビームを作製することができる。本光学系を備えたレーザ加工装置により、容易に、効率良くスポット溶接加工や焼き入れ加工、リペア加工ができる。

【0045】図16(a)及び図16(b)に本発明に基づく第8の実施例に於けるバイナリーオプティクス41の構造及び光の変換の状態を模式的に示し、図17(a)及び図17(b)には図16のバイナリーオプティクス41の各分割マトリクス要素41aの構造及び光の変換の状態を模式的に示す。このバイナリーオプティクス41は $m \times n$ 個(本実施例では $m=n=10$)のマトリクス要素41aに分割されており、各マトリクス要素41aにはそれぞれ同一ピッチの直線パターン(の回折格子)が刻まれている。各マトリクス要素41aの回折格子の各格子は、各マトリクス要素41aの中心 P_{ij} と $m \times n$ の格子の中心、即ちバイナリーオプティクス41の中心Oとを結ぶ線と直交する方向に延在するように形成されている。

【0046】尚、図17(b)には、簡単のために $m=n=7$ として図示し、図18(b)には $m=n=5$ として図示した。各マトリクス要素41aの回折格子は図16(a)に示すように、格子ピッチが一定の平行な直線パターンからなり、かつ各要素41aの格子ピッチ p (d)と要素1aの中心 P_{ij} とバイナリーオプティクスの中心Oとの距離 d との関係が、

【数21】 $p(d) = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$
となるように形成されている。(図17(a))。

【0047】このようなバイナリーオプティクス41に入射する光源としては上記同様平均出力100Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。レーザ光はビーム形状が円形をなし、バイナリーオプティクス41に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス41の中心Oと一致するように入射する。その入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布となっている。

【0048】

【数22】 $I(r) = a \exp(-b r^2)$

【0049】図18(b)には、説明のため、入射ビームの大きさに係わる分割要素1aの数を少なくし、 5×5 個としたバイナリーオプティクス41の平面図を示した。レーザ光はバイナリーオプティクス41を通過するとビームの大きさに応じた 5×5 個の要素ごとに進行方向を変え、各々が 5×5 本のマルチビームに変換される。各ビーム要素はビーム形状が矩形であり、各々光軸を持つことになる。

【0050】各ビーム要素の光軸は所望の図形を得る位置F上の集束位置に集まり、その位置に 5×5 個のビー

ム要素を重ねさせることができる。その位置におけるビームスポットの形状はビーム要素の形状を反映して矩形であり、ビームプロファイルは、各ビーム要素が重ね合わされた結果均等に平均化されて強度分布が均一なものが得られる。

【0051】尚、 m と n との比を変えてマトリクス要素の幅の縦横の比を遅えることにより、任意の形状の長方形の形状のビームを作製することができる。また、上記光学系を備えたレーザ加工装置により、矩形の断面形状を有するレーザビームを容易に、かつエネルギーの損失なく変換することができることから、レーザ装置の加工プロセスを有利にするとともに、効率の高いスポット溶接加工や焼き入れ加工、リペア加工が可能となる。

【0052】図19に本発明の第9の実施例に於けるバイナリーオプティクス51による光路変換の模式図を示す。このバイナリーオプティクス51に入射する光源としては上記同様平均出力100Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。レーザ光はビーム形状が円形をなす。レーザ発振器から出射したレーザ光は細いので、図示されていないが、焦点距離の異なる2枚のレンズの組合せで構成されるビーム拡大器で拡大されてその光軸がバイナリーオプティクス51の中心Oと一致するようにバイナリーオプティクス51に入射する。このレーザ光は、バイナリーオプティクス51に刻まれたパターンにより、各位置でそれぞれの方向に光の進行方向が変えられ、バイナリーオプティクス51から距離 h だけ離れた位置Fでは、変換したい出射光の形状及び強度分布のレーザビームスポットが得られる。ここで、バイナリーオプティクス51への入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布が一般的であるのでこれを用いる。

【0053】

【数23】 $I(r) = a \exp(-b r^2)$

【0054】バイナリーオプティクス1上の点P(図20(a))に入射した光線は、回折されて、バイナリーオプティクス51から距離 h だけ離れた位置(図19の所望の図形を得る照射基準面F)に到達し、その面内にて、バイナリーオプティクス51上の点Q(図20(a))を光軸と平行に距離 h だけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が所望の形状であり強度分布が平均化され、しかも均一なビームプロファイルを得るように点Qを決めてやれば良い。光線が上記面F上の点Qに対応する位置に到達するためには、バイナリーオプティクス51の点Pに於ける回折格子の配列方向、即ち格子の延在方向を線分PQの方向に一致させ、回折格子のピッチ p を、

【数24】 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$

とすれば良い。ここで、 d は距離PQである。尚、バイナリーオプティクス51の基板の屈折率により制限され

るピッチ p に対応して、 h は一定距離以上に制限される。本実施例では h は 200mm とした。

【0055】また、所望の図形を得る位置でビーム形状が形状であり、かつ強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るための点 P と点 Q との関係は次のように決められる。

【0056】1. 図 20 (a) に於て、バイナリーオプティクス 51 上、即ちレーザビームの光軸と垂直な面上に光軸を原点 O とする極座標を定義する。

2. レーザ光のビーム半径 (通常は $1/e^2$ 強度半径) を半径とする円 $L1$ 内の入射光を所望の図形を得る位置 (照射基準面) F で図形 $S1$ ($r = f(\theta)$) の形状で、強度が一定 u であるビームプロファイルの出射光に変換しようとする、円 $L1$ 内に於ける入射光強度の積分値 (底面が円 $L1$ であり、断面が図 20 (b) に示す $C_5C_6C_{10}C_{15}C_{16}$ の立体の体積に相当) と、所望の形状 (図形 $S1$) 内に於ける出射光強度の積分値 (底面が図形 $S1$ であり、断面が図 20 (b) に示す $C_3C_8C_{13}C_{18}$ の体積に相当) とは等しくなる。

3. バイナリーオプティクス 51 上に、原点 O を中心として、点 P を通る円 $L2$ を描く。

4. 点 P を通る円 $L2$ 内の光の強度の積分値 (底面が円 $L2$ であり、断面が図 20 (b) に示す $C_4C_7C_{10}C_{14}C_{17}$ の立体の体積に相当) を、強度が平均化された変換したい出射光の強度 u で割った値と等しい面積を有し、かつ所望の出射光の図形 $S1$ を、原点 O を中心とする極座標の動径を縮小または拡大して得られる図形 $S1$ と相似な図形 $S2$ ($r = k f(\theta)$) を描く。ここで、 k は定数であり、上記した積分値と等しい面積という条件から決定される。

5. 点 P と原点 O とを結ぶ直線と極座標軸 OX と円 $L2$ とに挟まれる扇形 OPA 内の光の強度の積分値 (底面が扇形 OPA であり、断面が図 20 (b) に示す $C_4C_7C_{10}C_{14}C_{17}$ の立体の体積に相当) と、上記式 $r = k f(\theta)$ を満足する相似図形 $S2$ の辺上の点 Q と原点 O とを結ぶ直線 OQ と極座標軸 OX と上記相似図形 $S2$ の辺とに挟まれる変換したい出射光の部分図形 OQB 内の光の強度の積分値 (底面が部分図形 OQB であり、断面が図 20 (b) に示す $C_2C_9C_{11}C_{12}$ の立体の体積に相当) が一致するように点 Q を決める。

【0057】以下、点 P に入射した光線が面 F 上で点 Q に対応する点に到達するように、バイナリーオプティクス 51 の点 P に於ける回折格子の配列方向を線分 PQ の方向に一致させ、上記ピッチを求める式 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$ に従って回折格子のピッチ p を決めてやれば良い。円 $S1$ 内の任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチを決めてやれば、円 $S1$ 内に入射したレーザ光を、所望の形状で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換できる。結局、円 $S1$ 内に入射した強度分布がガウス型のレーザ光は、形状が所望の図形で

強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換される。円 $S1$ 外に入射したレーザ光線についても強度分布が平均化された延長上に変換される。尚、所望の図形として矩形や三角形、星形、楕円形など各種の形状にビームを変換することが可能である。

【0058】このように、バイナリーオプティクスの回折格子のピッチを、入射光線の強度分布とバイナリーオプティクス上の位置とに応じて定めることにより、レーザ光を所望の形状にでき、しかもその形状が得られる位置 F に於て均一な強度分布のビームプロファイルが得られる。また、このようなレーザ光を用いて大面積表面処理加工ができる。

【0059】図 21 に本発明の第 10 の実施例に於ける 2 枚のバイナリーオプティクス 51、52 による光路変換の模式図を示す。上記第 9 の実施例と同様なバイナリーオプティクス 51 を第 1 のバイナリーオプティクスとし、図 19 に於ける所望の図形を得る位置 F に第 2 のバイナリーオプティクス 52 を配置したものであり、この第 2 のバイナリーオプティクス 52 に入射した光線は平行光に戻されるようになっている。

【0060】図 20 (a) に於て、第 2 のバイナリーオプティクス 52 の点 Q の位置には対応する第 1 のバイナリーオプティクス 51 の点 P の位置のピッチ p と同じピッチであり回折格子の配列方向が線分 QP の向きに一致する回折格子を作っておけば、平行光に戻することができる。ここで、第 2 のバイナリーオプティクス 52 の階段の傾きは第 1 のバイナリーオプティクス 51 とは逆向きであることに注意する必要がある。こうして、図 21 に示されるように、第 2 のバイナリーオプティクス 52 からの出射光はそのビームプロファイルの強度分布が均一でビーム形状が所望の形状をなし、しかも平行光として得られる。更に、図 22 のように平行光線を集束するレンズ 53 を組み合わせた光学系を備えたレーザ加工装置により、焼き入れ加工やリペア加工、マイクロエレクトロニクス分野に於ける穴開け、切断加工ができる。本構成は各種形状のパターンの照射を多数繰り返す行うのに適しており、通常の円形とは違った異形の連続模様を板に与えるレーザ加工やロール加工に適用できる。表面の微細模様が従来のものとは異なるので、新鮮な感覚を人々に与え付加価値を高めることができる。

【0061】図 22 の第 2 のバイナリーオプティクス 52 とレンズ 53 との間の位置には、図 23 に示すように、別の形状の開口 54a を有するプレート 54 を設け、ビームのエッジを鋭くすることもできる。これをレンズ 53 で絞って強度分布が均一な別の形状を与えるビームスポットが得られる。この場合もビームの中心部分の強度の高い部分のみを開口に通していた従来法に比べて高効率の光結合を実現できる。

【0062】また、図 22 の第 2 のバイナリーオプティクス 52 とレンズ 53 との間の位置に、図 24 に示すよ

うに、マスク55を設けても良い。この場合も強度分布が均一であるため高効率で、マスクに描かれた文字列などの複雑な模様を効率的に対象物にマーキングすることができる。

【0063】図25に本発明に基づく第11の実施例に於けるバイナリーオプティクス61による光路変換の模式図を示す。このバイナリーオプティクス61は上記同様平均出力100Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。実際にはレーザ発振器から出射したレーザ光は細いので、図示されていないが、焦点距離の異なる2枚のレンズの組合せで構成されるビーム拡大器で拡大され、平行光に変換された後、本発明のバイナリーオプティクス61に入射するようになっている。このレーザ光はビーム形状が円形をなし、バイナリーオプティクス61に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス61の中心Oと一致するように入射するものとする。その入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を中心からの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布となっている一般的に使用されるものを想定する。

【0064】

$$\text{【数25】 } I(r) = a \exp(-b r^2)$$

【0065】このレーザ光は、バイナリーオプティクス61に刻まれたパターンにより、各位置でそれぞれの方向に光の進行方向が変えられ、該バイナリーオプティクス61から距離 h だけ離れた位置（照射基準面）Fでは、変換したい出射光の形状及び強度分布のレーザビームスポットが得られる。

【0066】バイナリーオプティクス61上の点P（図26（a））に入射した光線は、回折されて、バイナリーオプティクス61から距離 h だけ離れた位置（図25の所望の図形を得る位置F）に到達し、その面内に、バイナリーオプティクス1上の点Q（図26（a））を光軸と平行に距離 h だけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が所望の閉じた線状図形であり、その線上では強度が平均化され均一になるように点Qを決めてやれば良い。光線が点Qに到達するためには、バイナリーオプティクス61の点Pに於ける回折格子の配列方向、即ち格子の延在方向を線分PQの方向に一致させ、回折格子のピッチ p を、

$$\text{【数26】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$$

とすれば良い。ここで、 d は距離PQである。尚、バイナリーオプティクス61の基板の屈折率から制限されるピッチ p に対応して、 h は一定距離以上に制限される。本実施例では h は200mmとした。

【0067】また、所望の図形を得る位置Fでビーム形状が閉じた線状をなし強度が一定の図形Mを得るための点Pと点Qとの関係は次のように決められる。即ち、図26（a）に於て、

1. レーザビームの光軸Lと垂直な面内に、光軸を原点

Oとする極座標を定義する。

2. 原点Oを中心として、点Pを通る円C1を描く。

3. 変換したい出射光の閉じた線状図形Mを原点Oを取り囲んで描く。

4. 上記線状図形M上の座標軸OXから点Qまでの線BQの長さとして線状図形Mの線の全長との比と、点Pと中心Oとを結ぶ線分POと座標軸OXとに挟まれる扇形OPA内の光の強度の積分値と円C1内の光の強度の積分値との比が一致するように点Qを決める。

10 【0068】以下、点Pに入射した光線が点Qに到達するように、バイナリーオプティクス61の点Pに於ける回折格子の配列方向を線分PQの方向に一致させ、上記式 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$ に従って、回折格子のピッチ p を決めてやれば良い。半径がビーム半径（通常 $1/e^2$ 強度半径）の円C2内の任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチとを決めてやれば、円C2内に入射したレーザ光を、線上に於ける強度が一定の所望の閉じた線状図形Mをなすビームスポットに変換できる。結局、円C2内に入射した強度分布がガウス型のレーザ光は、形状が所望の閉じた線状図形であり線上に於けるピーク強度が一定のビームスポットに変換される。円C2外に入射したレーザ光線についても同様に変換される。

【0069】一方、例えば矩形の線状図形を得るには、図27に示されるように、点Pと点Qとの関係を規定する上記1～4の条件のうち、条件3及び4を、

3. 矩形の中心を原点Oに置き、矩形M'を描く。

4. 上記矩形M'上の座標軸OXとの交点Bから点Qまでの線分BQの長さとして線状矩形M'の線の全長との比と、点Pと中心Oとを結ぶ直線POと座標軸OXとに挟まれる扇形OPA内の光の強度の積分値と円C2内の光の強度の積分値との比を一致させる。

とすれば良い。

【0070】また、例えば円形の線状図形を得るには、図28に示されるように、点Pと点Qとの関係を規定する上記1～4の条件のうち、条件3及び4を、

3. 円形の中心を原点Oに置いて、円M'を描く。

4. 原点Oと点Pとを結ぶ直線OPと円M'との交点を点Qとする。

とすれば良い。

【0071】この他に、所望の閉じた線状図形として、三角形や星形、楕円形など、各種形状にビームを変換することができる。

【0072】このように、バイナリーオプティクスの回折格子のピッチを、入射光線の強度分布とバイナリーオプティクス上の位置とに応じて定めることにより、所望の線状図形を得る位置Sに於て線上の各位置で均一なピーク強度を持つ閉じた線状のビームスポットが得られるようになる。また、このような例えば6mm×8mmの矩形の図形を与えるレーザ光を用いて打ち抜き加工がで

きる。

【0073】図29に本発明に基づく第12の実施例に於けるバイナリーオプティクス63による光路変換の状態を模式的に示す。入射光の強度分布は第11の実施例と同じとする。バイナリーオプティクス63上の点Pに入射した光線は、回折されてバイナリーオプティクス63から距離hだけ離れた位置（所望の図形を得る位置F）に到達しその位置に於ける光軸Lに垂直な面内にある、点Q（図30（a））を光軸と平行に距離hだけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が所望の閉じた帯状の図形であり強度分布が平均化されて均一なビームプロファイルを得るように点Qを決めてやれば良い。光線が点Qに到達するためには、第11の実施例と同様に、バイナリーオプティクス63の点Pに於ける回折格子の配列方向を線分PQの方向に一致させ、回折格子のピッチpを上記同様に決めてやれば良い。

【0074】また、所望の図形を得る位置Fで強度分布が平均化された均一なビームプロファイルを有し、かつビーム形状が閉じた帯状図形Nを得るための点Pと点Qとの関係は次のように決められる。即ち、図30（a）に於て、

1. レーザビームの光軸Lと垂直な面内に、光軸を原点Oとする極座標を定義する。
2. 原点Oを中心として、開口円C1を描く。
3. 変換したい出射光の閉じた帯状図形N（閉じた線N1と線N2とに囲まれる図形）を、原点Oを取り囲んで描く。
4. 原点Oから点Pを通り開口円C1に達する線分OGを引く。
5. 開口円C1内の光の強度の積分値を閉じた帯状図形Nの面積で割った値を均一化された強度とする。
6. 開口円C1と、点Pと中心Oとを結ぶ直線と、座標軸OXとに挟まれる扇形OGE内の光の強度の積分値と、点Qを通り帯状図形Nの外形線N1と中心Oとを結ぶ線分OHと座標軸OXとに挟まれる変換したい出射光の部分図形DHFCの面積と平均化された強度の積として与えられる部分図形DHFC内の光の強度の積分値とを一致させる。
7. 部分図形DHFCの点Qによる辺DHの内分比と、点Pと中心Oとを結ぶ線分OP上の光の強度の積分値と該線分OPの延長線と開口円C1との交点Gと点Pとを結ぶ線分PG上の光の強度の積分値との比が一致するように点Qを決める。

【0075】以下、点Pに入射した光線が点Qに到達するように、バイナリーオプティクス63の点Pに於ける回折格子の配列方向を線分PQの方向に一致させ、上記式 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$ に従って、回折格子のピッチpを決めてやれば良い。円C1内の任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチとを決めてやれば、

円C1内に入射したレーザ光を、所望の帯状形状で強度分布が平均化された均一なビームスポットに変換できる。結局、円C1内に入射した強度分布がガウス型のレーザ光は、形状が所望の閉じた帯状をなし、強度分布が平均化された均一なビームプロファイルを有するビームスポットに変換される。円C1外に入射したレーザ光線についても同様に变换される。

【0076】一方、例えば矩形の閉じた帯状図形を得るには、図31に示されるように、点Pと点Qとの関係を規定する上記1～6の条件のうち、条件3～6を、

3. 変換したい出射光の閉じた帯状矩形N'を、矩形の中心を原点Oに置いて描く。

4. 原点Oから点Pを通り開口円C1に達する直線OGを引く。

5. 開口円C1内の光の強度の積分値を閉じた帯状矩形N'の面積で割った値を均一化された強度とする。

6. 開口円C1と、点Pと中心Oとを結ぶ直線と、座標軸OXとに挟まれる扇形OGE内の光の強度の積分値と、点Qを通り帯状矩形N'の外形線N1'と中心Oとを結ぶ直線OHと座標軸OXとに挟まれる変換したい出射光の部分図形DHFCの面積と平均化された強度の積として与えられる部分図形DHFC内の光の強度の積分値とを一致させる。

7. 部分図形の点Qによる辺DHの内分比と、点Pと中心Oとを結ぶ線分OP上の光の強度の積分値と該線分OPの延長線と開口円C1との交点GとPとを結ぶ線分PG上の光の強度の積分値との比が一致するように点Qを決める。

とすれば良い。

【0077】また、例えば円形の閉じた帯状図形を得るには、図32に示されるように、点Pと点Qとの関係を規定する上記1～6の条件のうち、条件3～6を、

3. 変換したい出射光の閉じた帯状円形N''を、中心を原点Oに置いて描く。

4. 原点Oから点Pを通り開口円C1に達する直線OGを引く。

5. 開口円C1内の光の強度の積分値を閉じた帯状図形N''の面積で割った値を平均化された強度とする。

6. 開口円C1と、点Pへ向けて中心Oから延びる線分OGと、座標軸OXとに挟まれる扇形OGE内の光の強度の積分値と、上記帯状円形N''と、点Qと中心Oとを通る直線OHと、座標軸OXとに挟まれる変換したい出射光の部分図形DHFC内の光の強度の積分値とを一致させる。

7. 部分図形DHFCの点Qによる辺DHの内分比と、点Pと中心Oとを結ぶ線分OP上の光の強度の積分値と該線分OPの延長線と開口円C1との交点Gと中心Oとを結ぶ線分PG上の光の強度の積分値との比が一致するように点Qを決める。

とすれば良い。この他に、所望の閉じた帯状図形とし

て、三角形、星形、楕円形など、各種形状にビームを変換することができる。

【0078】このように、バイナリーオプティクス of 回折格子のピッチを、入射光線の強度分布とバイナリーオプティクス上の位置とに応じて定めてやることにより、所望の図形を得る位置 F に於て閉じた帯状の図形で均一な強度分布のビームプロファイルを持つビームスポットが得られる。例として、帯の幅が 3mm で、12mm × 15mm の矩形のビームスポットが得られる。

【0079】図 33 に本発明に基づく第 13 の実施例として 2 枚のバイナリーオプティクスを用いた光路変換の状態を模式的に示す。本実施例は図 29 に於ける所望の図形を得る位置 F に第 2 のバイナリーオプティクス 65 を配置するものであり、第 2 のバイナリーオプティクス 65 に入射した光線はこれにより平行光に戻される。図 33 に於て、第 2 のバイナリーオプティクス 65 の点 Q の位置には対応する第 1 のバイナリーオプティクス 63 の点 P の位置のピッチ p と同じピッチであり回折格子の配列方向が線分 QP の向きに一致する回折格子を作っておけば、平行光に戻ることができる。ここで、第 2 のバイナリーオプティクス 65 の階段の傾きは第 1 のバイナリーオプティクス 63 とは逆向きであることに注意する必要がある。こうして、図 34 に示されるように、第 2 のバイナリーオプティクス 65 からの出射光としてそのビームプロファイルの強度分布が均一でビーム形状が所望の平行光が得られる。更に、図 34 のように平行光線を集束するレンズ 67 を組み合わせた光学系を備えたレーザ加工装置により、スポット打ち抜き加工が容易にできる。本構成は各種形状のパターンの照射を多数繰り返して行うのに適しており、通常の円形とは違った異形の連続模様を板に与えるレーザダル加工やロールダル加工ができる。表面の微細模様が従来のものとは異なるので、新鮮な感覚を与えることができ、付加価値を高めることができる。尚、所望の図形として、特に閉じた図形である必要はなく、単に線状図形や、帯状図形について同様に変換することができる。

【0080】図 35 に本発明に基づく第 14 の実施例に於けるバイナリーオプティクス 71 による光路変換の模式図を示す。このバイナリーオプティクス 71 に入射する光源としては上記同様平均出力 100W のレーザ加工用の Nd:YAG レーザが用いられる。実際にはレーザ発振器から出射したレーザ光は細いので、図示されていないが、焦点距離の異なる 2 枚のレンズの組合せで構成されるビーム拡大器で拡大され、平行光に変換された後、本発明のバイナリーオプティクス 71 に入射するようになっている。このレーザ光はビーム形状が円形をなし、バイナリーオプティクス 71 に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス 71 の中心 O と一致するように入射するものとする。

【0081】レーザビームは、バイナリーオプティクス

71 に刻まれたパターンにより、各位置でそれぞれの方
向に光の進行方向が変えられ、バイナリーオプティクス
71 から距離 h だけ離れた位置 F では、変換したい出射
光の形状及び強度分布のレーザビームスポットが得られ
る。

【0082】i) リングモードの場合：入射光は強度分布
が点対称であるリングモードとして TEM_{01} に TEM_{00}
が混じった円形分布 2 として近似的に、

【数 27】 $I(r) = a \exp(-b(r-c)^2 - d r^2)$

を仮定する。ここで、r は中心からの距離、a、b、
c、及び d は係数である。図 36 に於て、バイナリーオ
プティクス 71 上の点 P に入射した光線は回折されて、
図 35 に於けるバイナリーオプティクス 71 から距離 h
だけ離れた所望の図形を得る位置（照射基準面）F に到
達し、その位置に於ける光軸 L に垂直な面内にあって、
図 36 に於ける点 Q を光軸 L と平行に距離 h だけ並進し
た位置に到達したとする。その位置でビーム形状が所望
の図形であり強度分布が平均化され均一なビームプロフ
ィールを得るように点 Q を決めてやれば良い。光線が点
Q に到達するためには、バイナリーオプティクス 71 上
の点 P に於ける回折格子の配列方向を直線 PQ の方向に
一致させ、回折格子のピッチ p を、

【数 28】 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$

とすれば良い。ここで、d は距離 PQ である。バイナリ
ーオプティクス 71 の基板の屈折率から制限されるピッ
チ p に対応して、h は一定距離以上に制限される。本実
施例では h は 200mm とした。

【0083】また、所望の図形を得る位置 F でビーム形
状が図形 M1 であり強度分布が平均化され均一なビーム
プロファイルを得るための点 P と点 Q との関係は次のよ
うに決められる。即ち、図 36 に於て、

1. レーザビームの光軸と垂直な面内に、光軸を原点 O
とする極座標を定義する。

2. レーザのモードと同じ対称性を持つ図形として円を
考え、レーザのビーム半径（通常は $1/e^2$ 強度半径）
を半径とする円 R1 内の入射光を所望の図形を得る位置
F で図形 M1 ($r = f(\theta)$) の形状で、強度が一定 u
であるビームプロファイル BP1 の出射光に変換される
とすると、円 R1 内に於ける入射光強度の積分値（底面
が円 R1、断面が $C_5 C_6 C_{10} C_{15} C_{16}$ の体積に相当）
と、所望の図形 M1 内に於ける出射光強度 BP1 の積分
値（底面が図形 M1、断面が $C_3 C_8 C_{13} C_{18}$ の体積に相
当）とは等しい。

3. 上記面内に、原点 O を中心として、点 P を通る円 R
2 を描く。

4. 点 P を通る円 R2 内の光の強度の積分値（底面が円
R2、断面が $C_4 C_7 C_{10} C_{14} C_{17}$ の体積に相当）を強度
が平均化された変換したい出射光の強度 u で割った値と
等しい面積を有し、所望の出射光の形状 M1 を原点 O を
中心とした極座標の動径を縮小または拡大して得られる

M1と相似な図形M2 ($r = k f(\theta)$) を描く。ここで、 k は定数であり、上記した積分値と等しい面積という条件から決定される。

5. 点Pと中心Oとを結ぶ直線と極座標軸OXとに挟まれる扇形OPA内の光の強度の積分値(底面が扇形OPA、断面が $C_4 C_7 C_{10} C_1$ の体積に相当)と、上記 $r = k f(\theta)$ を満足する上記相似形M2の辺上の点Qと中心Oとを結ぶ直線と極座標軸OXと前記相似図形M2の辺とに挟まれる変換したい出射光の部分図形OQB内の光の強度の積分値(底面が部分図形OQB、断面が $C_2 C_9 C_{11} C_1$ の体積に相当)が一致するように点Qを決める。

【0084】 i) TEM_{mn}モードの場合: 入射光は強度分布がマトリクス状の斑点模様であるTEM₂₂モードを仮定する。図37に於て、バイナリーオプティクス上の点Pに入射した光線は回折されて、図35に於けるバイナリーオプティクス71から距離 h だけ離れた所望の図形を得る位置Fに到達し、その位置に於ける光軸Lに垂直な面内にあって、図37に於ける点Qを光軸と平行に距離 h だけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が所望の図形であり強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るように点Qを決めてやれば良い。光線が点Qに到達するためには、バイナリーオプティクス1の点Pに於ける回折格子の配列方向を直線PQの方向に一致させ、回折格子のピッチ p を、

$$【数29】 p = \lambda \sqrt{1 + h^2 / d^2}$$

とすれば良い。ここで、 d は距離PQである。バイナリーオプティクス1の基板の屈折率から制限されるピッチ p に対応して、 h は一定距離以上に制限される。本実施例では h は200mmとした。

【0085】 また、所望の図形を得る位置Fでビーム形状が図形Mであり強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るための点Pと点Qとの関係は次のように決められる。即ち、図37に於て、

1. レーザビームの光軸と垂直な面内に、光軸を原点Oとする極座標を定義する。
2. レーザのモードと同じ対称性を持つ図形として矩形を考え、レーザビームを包絡する矩形S1内の入射光を所望の図形を得る位置Fで図形M1 ($r = f(\theta)$) の形状で、強度が一定 u であるビームプロファイルBP1の出射光に変換されるとすると、矩形S1内に於ける入射光強度の積分値(底面が矩形S1、断面が $C'_5 C'_6 C'_{10} C'_{15} C'_{16}$ の体積に相当)と、所望の図形M1内に於ける出射光強度BP1の積分値(底面が図形M1、断面が $C_3 C_8 C_{13} C_{18}$ の体積に相当)とは等しい。
3. 上記面内に、原点Oを中心として、点Pを通る矩形S1を縮小した矩形S2を描く。
4. 点Pを通る矩形S2内の光の強度の積分値(底面が矩形S2、断面が $C'_4 C'_7 C'_{10} C'_{14} C'_{17}$ の体積に相当)を、強度が平均化された変換したい出射光の強度 u

で割った値と等しい面積を有し、所望の出射光の原点Oを中心とした極座標の動径を縮小または拡大して得られる形状M1と相似な図形M2 ($r = k' f(\theta)$) を描く。ここで、 k' は定数であり、上記の、積分値と等しい面積という条件から決定される。

5. 点Pと中心Oとを結ぶ直線と極座標軸OXと矩形S2とに囲まれる図形OPA内の光の強度の積分値(底面が図形OPA、断面が $C'_4 C'_7 C'_{10} C'_1$ の体積に相当)と、式 $r = k' f(\theta)$ を満足する上記相似形M2の辺上の点Qと中心Oとを結ぶ直線と極座標軸OXと前記相似図形M2の辺とに挟まれる変換したい出射光の部分図形OQB内の光の強度の積分値(底面が部分図形OQB、断面が $C_2 C_9 C_{11} C_1$ の体積に相当)が一致するよう点Qを決める。

【0086】 以下、点Pに入射した光線が点Qに到達するよう、バイナリーオプティクス1の点Pに於ける回折格子の配列方向を直線PQの方向に一致させ、式 $p = \lambda \sqrt{1 + h^2 / d^2}$ に従って、回折格子のピッチ p を決めてやれば良い。円R1または矩形S1内の任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチを決めてやれば、円R1または矩形S1内に入射したレーザ光を、所望の形状で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換できる。結局、円R1または矩形S1内に入射した強度分布がガウス型のレーザ光は、形状が所望の図形で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換される。円R1または矩形S1外に入射したレーザ光線についても強度分布が平均化された延長上に変換される。所望の図形として矩形や三角形、星形、楕円形など各種の形状にビームを変換することができる。

- 30 【0087】 このように、バイナリーオプティクス71の回折格子のピッチを、入射光線の強度分布とバイナリーオプティクス71上の位置に応じて定めてやれば、所望の図形が得られる位置Fに於て均一な強度分布のビームプロファイルが得られる。また、このようなレーザ光を用いて大面積表面処理加工ができる。

【0088】 図38に本発明の2枚のバイナリーオプティクスによる光路変換の模式図を示す。図38に於ける所望の図形を得る位置Fに第2のバイナリーオプティクス72を配置するものであり、第2のバイナリーオプティクス72に入射した光線はこれにより平行光に戻される。図36または図37に於て、第2のバイナリーオプティクス72の点Qの位置には対応する第1のバイナリーオプティクス71の点Pの位置のピッチ p と同じピッチであり回折格子の配列方向が直線QPの向きに一致する回折格子を作っておけば、平行光に戻すことができる。ここで、第2のバイナリーオプティクス72の階段の傾きは第1のバイナリーオプティクス71とは逆向きであることに注意する必要がある。こうして、図38に示されるように、第2のバイナリーオプティクス72からの出射光としてそのビームプロファイルの強度分布が

均一でビーム形状が任意のものが得られる。更に、図39のように平行光線を集束するレンズ73を組み合わせた光学系を備えたレーザ加工装置により、焼き入れ加工やリペア加工、マイクロエレクトロニクス分野に於ける穴開け、切断加工ができる。本構成は各種形状のパターンの照射を多数繰返し行うのに適しており、通常の円形とは違った異形の連続模様を板に与えるレーザ加工やロール加工ができる。表面の微細模様が従来のものとは異なるので、新鮮な感覚を与え付加価値を高めることができる。

【0089】図39の出射光の位置には、図40に示すように、別の形状の開口74を設け、ビームのエッジを鋭くすることもできる。これをレンズ75で絞って強度分布が均一な別の形状を与えるビームスポットが得られる。これによりビームの中心部分の強度の高い部分のみを開口に通していた従来法に比べて高効率の光結合を実現できる。

【0090】また、同じように、図39の出射光の位置に、図41に示すように、マスク76を置いて、マスク76に描かれた文字列などの複雑な模様を、強度分布が均一な高効率のマーキングを対象物Aに施すこともできる。

【0091】図42に本発明の第15の実施例に於けるバイナリーオプティクス81による光路変換の模式図を示す。このバイナリーオプティクス81に入射する光源としては上記同様平均出力100Wのレーザ加工用のNd:YAGレーザが用いられる。実際にはレーザ発振器から出射したレーザ光は細いので、図示されていないが、焦点距離の異なる2枚のレンズの組合せで構成されるビーム拡大器で拡大され、平行光に変換された後、本発明のバイナリーオプティクス81に入射するようになっている。このレーザ光はビーム形状が円形をなし、バイナリーオプティクス81に入射する前にビーム拡大器で拡大されその光軸がバイナリーオプティクス81の原点Oと一致するように入射するものとする。その入射光強度分布 $I(r)$ は、 r を原点Oからの距離、 a 及び b を係数として、次式に示すようなガウス型強度分布となっている一般的に使用されるものを想定する。

【0092】

$$\text{【数30】 } I(r) = a \exp(-b r^2)$$

レーザビームは、バイナリーオプティクス1に刻まれたパターンにより、各位置でそれぞれの方向に光の進行方向が変えられ、バイナリーオプティクス81から距離 h だけ離れた位置Fでは、変換したい3分割された出射光の形状及び強度分布のレーザビームスポットが得られる。

【0093】図43に於て、バイナリーオプティクス81上の3つの領域内にある点P、P'、P"に入射した光線は回折されて、図42に於けるバイナリーオプティクス81から距離 h だけ離れた位置（3分割された所望

の図形を得る位置）Fに到達し、その位置に於ける光軸Lに垂直な面内にあって、図43に於ける点Q、Q'、Q"を光軸Lと平行に距離 h だけ並進した位置に到達したとする。その位置でビーム形状が3つに分かれた矩形であり、かつその強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るように点Q、Q'、Q"を決めてやれば良い。光線が点Q、Q'、Q"に到達するためには、バイナリーオプティクス81上の点P、P'、P"に於ける回折格子の配列方向を線分PQ、P'Q'、P"

10 Q"の方向に一致させ、回折格子のピッチ p を、

$$\text{【数31】 } p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$$

とすれば良い。ここで、 d は距離PQまたはP'Q'またはP"Q"である。バイナリーオプティクス1の基板の屈折率から制限されるピッチ p に対応して、 h は一定距離以上に制限される。本実施例では h は200mmとした。

【0094】また、3分割された所望の図形を得る位置Fでビーム形状が図形Mであり強度分布が平均化され均一なビームプロファイルを得るための点Pと点Qとの関係は次のように決められる。即ち、図43に於て、

【0095】1. レーザビームの光軸と垂直な面内に、光軸を原点Oとする第1の極座標を定義する。
2. 第1の極座標軸Xと垂直に原点Oを中心とする対称な平行線を引き、レーザビームの断面を3分割する。
3. 平行線の外側の極座標軸X上に第2及び第3の極座標を定義する。
4. レーザのビーム半径（通常は $1/e^2$ 強度半径）を半径とする円R1及び上記平行線とで囲まれる領域内の入射光が3分割された所望の図形を得る位置Fで図形S1（ $r = f(\theta)$ ）の形状で、強度が一定 u であるビームプロファイルBP1の出射光に変換されるとすると、円R1内であって、かつ上記平行線内の領域に於ける入射光強度の積分値（底面が円R1と平行線とで囲まれる太鼓型、断面が $C_5C_6C_{10}C_{15}C_{16}$ の立体の体積に相当）と、所望の図形S1内に於ける出射光強度の積分値（底面が図形S1、断面が $C_3C_8C_{13}C_{18}$ の立体の体積に相当）とは等しい。

5. 上記面内に、原点Oを中心として、点Pを通るように円R1及び上記平行線とで囲まれる太鼓型の図形を縮小して描く。

6. 点Pを通る太鼓型図形内の光の強度の積分値（底面が該縮小太鼓型図形、断面が $C_4C_7C_{10}C_{14}C_{17}$ の体積に相当）を強度が平均化された変換したい出射光の強度 u で割った値と等しい面積を有し、かつ所望の出射光の図形S1を原点Oを中心とした極座標の動径を縮小または拡大して得られる図形S1と相似な図形S2（ $r = k f(\theta)$ ）を描く。ここで、 k は定数であり、上記した積分値と等しい面積という条件から決定される。

7. 点Pと原点Oとを結ぶ直線と極座標軸X（横軸）とに挟まれる鼓型図形内の光の強度の積分値（底面が該図

形、断面が $C_4C_7C_{10}C_1$ の体積に相当)と、式 $r = kf(\theta)$ を満足する上記相似形の辺上の点Qと原点Oとを結ぶ直線と極座標軸X(横軸)と上記相似図形S2の辺とに挟まれる変換したい出射光の部分図形(線分OQ、相似図形及び極座標軸X(横軸)で囲まれる図形)内の光の強度の積分値(底面が該部分図形、断面が $C_2C_9C_{11}C_1$ の体積に相当)が一致するような点Qを決める。

8. 第2、第3の領域に対しても原点を点O'、O"として同様の操作を施し、点P'、P"に対して点Q'、Q"を決める。

【0096】以下、点Pに入射した光線が点Qに到達するよう、バイナリーオプティクス81の点Pに於ける回折格子の配列方向を線分PQの方向に一致させ、式 $p = \lambda \sqrt{(1 + h^2/d^2)}$ に従って、回折格子のピッチpを決めてやれば良い。円R1と上記平行線とに囲まれた領域にある任意の点について同様に回折格子の配列方向とピッチとを決めてやれば、円R1と平行線とに囲まれた領域に入射したレーザ光が、所望の図形の形状で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換される。結局、円R1と平行線とに囲まれた領域に入射した強度分布がガウス型をなすレーザ光は、形状が所望の図形で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換される。平行線外にある第2、第3の領域の任意の点P'及びP"に入射した光線についても各々点Q'及びQ"に到達するよう、回折格子の配列方向とピッチとを決めてやれば良い。各々、所望の図形の形状で強度分布が平均化され均一なビームスポットに変換される。

【0097】以上の例のみならず、入射光としてはどのような形状、どのような強度分布のものでも良く、また回折により得られる所望のビームとして均一強度ビームだけでなく任意の形状、強度分布のものでも構わない。

【0098】また、上記のように透過型の回折効果を利用するばかりでなく、バイナリーオプティクスの表面をミラーコーティングして反射型の回折素子として利用しても良い。これはCO₂レーザに適用する場合に有利である。

【0099】このように、3分割して変換されたレーザ光は第1のビーム(原点O'を含む第2の領域のビーム)で前照射して予備加熱し、第2のビーム(原点Oを含む第1の領域のビーム)で本照射して溶接、第3のビーム(原点O"を含む第3の領域のビーム)で焼きなますことにより、仕上がりが波打つことなくムラなくきれいにしかも効率的な溶接加工ができる。

【0100】

【発明の効果】上記した説明により明らかなように、本発明によれば、素子内の各位置に於ける回折格子の配列方向とピッチとが、入射光の形状及び強度分布と、変換したい出射光の形状及び強度分布とに対応させて設計されたバイナリーオプティクス及びこれを用いた光学系に

より、所望の断面形状を有するレーザビームを容易に、かつエネルギーの損失なく変換することができることから、レーザ加工プロセスを有利にすると共に、効率の高い加工が可能になる。更に、かかる構成のレーザ装置は、レーザ加工プロセスを有利にすると共に、効率の高い加工が可能になる。また、一枚でレーザ光を前処理用、本処理用、後処理用の3本のビームに分け、かつ各々強度が均一な所望の矩形のビームスポットを作ることができる。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に基づく第1の実施例に於けるバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図2】(a)は本発明に基づくバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図3】本発明に基づく第2の実施例に於ける第1及び第2のバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図4】第2の実施例の応用実施例を示す図3と同様な図。

【図5】(a)は本発明に基づく第3の実施例を示す直線状の回折格子パターンを有するバイナリーオプティクスの構造を示す模式的平面図、(b)はその断面図。

【図6】本発明に基づく第4の実施例を示す曲線状の回折格子パターンを有するバイナリーオプティクスの構造を示す模式的平面図。

【図7】第4の実施例のバイナリーオプティクスを一对用いたレーザ光の集光光学系を示す模式的斜視図。

【図8】本発明に基づく第5の実施例に於けるバイナリーオプティクスの光路変換の状態を模式的に示す図。

【図9】第5の実施例に於ける一对のバイナリーオプティクスを用いた集光光学系の配置を示す模式的斜視図。

【図10】第6の実施例の集光光学系を一对用いたレーザ加工装置の要部を示す模式的構成図。

【図11】第6の実施例の集光光学系を一对用いたレーザ加工装置の要部を示す模式的構成図。

【図12】(a)は本発明に基づく第7の実施例に於ける集光光学系を構成するバイナリーオプティクスの構造を示す平面図、(b)はその断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図13】(a)は図12のバイナリーオプティクスの各線り返し要素の構造を示す平面図、(b)はその断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図14】(a)は本発明に基づく第7の実施例に於ける集光光学系の構成要素である2枚のバイナリーオプティクスを相対配置した状態を示す平面図、(b)は(a)の側面図。

【図15】(a)は本発明に基づく第7の実施例に於ける

る集光光学系の構成及び配置を示す側面図、(b)は光源からのレーザ光を分割した状態を示す(a)のバイナリーオプティクスを模式的に示す図。

【図16】(a)は本発明に基づく第8の実施例に於けるバイナリーオプティクスの構造を示す側面図、(b)はその断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図17】(a)は図16のバイナリーオプティクスの各マトリクス要素の構造を示す側面図、(b)はその断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図18】(a)は本発明に基づく第8の実施例のバイナリーオプティクスを配した状態を示す側面図、(b)は光源からのレーザ光を分割した状態を示す(a)のバイナリーオプティクスの平面図。

【図19】本発明に基づく第9の実施例に於けるバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図20】(a)は本発明に基づく第9の実施例に於けるバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図21】本発明に基づく第10の実施例に於ける第1及び第2のバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図22】第10の実施例の応用実施例を示す図21と同様な図。

【図23】第10の実施例の応用実施例を示す図21と同様な図。

【図24】第10の実施例の応用実施例を示す図21と同様な図。

【図25】本発明に基づく第11の実施例に於けるバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図26】(a)は第11の実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図27】(a)は第11の実施例の変形実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図28】(a)は第11の実施例の変形実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図29】本発明に基づく第12の実施例に於けるバイナリーオプティクスの断面及び光路変換の状態を模式的に示す図。

【図30】(a)は第12の実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの

光路変換について説明する図。

【図31】(a)は第12の実施例の変形実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、

(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

【図32】(a)は第12の実施例の変形実施例のバイナリーオプティクスの構造を説明する模式的平面図、

(b)は入射光の強度分布状態及び(a)のバイナリーオプティクスの光路変換について説明する図。

10 【図33】本発明に基づく第13の実施例に於ける2枚のバイナリーオプティクスにより集光し所望の閉じた帯状の形状で強度分布が均一な平行光として取り出す様子を説明するための図。

【図34】図33の2枚のバイナリーオプティクスにより集光し所望の閉じた帯状の形状で強度分布が均一な平行光として取り出し、更にレンズで集束し均一強度分布を保ったまま所望の図形の微小スポットを得る様子を説明するため図。

20 【図35】本発明に基づく第14の実施例に於けるバイナリーオプティクスによる集光の様子を説明するための模式図。

【図36】回折格子の配列の向きを決めるための点Qを決める方法の説明図であり、上部は入出射光のビーム形状、下部は入出射光のビームプロファイルを示す。

【図37】回折格子の配列の向きを決めるための点Qを決める方法の説明図であり、上部は入出射光のビーム形状、下部は入出射光のビームプロファイルを示す。

30 【図38】第14の実施例の2枚のバイナリーオプティクスを有する集光光学系によりレーザビームを集光し所望の形状で強度分布が均一な平行光として取り出す様子を説明するための模式図。

【図39】図36で取り出した平行光をレンズで集束し均一強度分布を保ったまま所望図形の微小スポットを得る様を示す模式図。

【図40】図39のビーム出射位置に更に開口を組み合わせた様を示す模式図。

【図41】図39のビーム出射位置に更にマスクを組み合わせた様を示す模式図。

40 【図42】本発明に基づく第15の実施例に於けるバイナリーオプティクスによる集光の様子を説明するための模式図。

【図43】回折格子の配列の向きを決めるための点Qを決める方法の説明図であり、上部は入出射光のビーム形状、下部は入出射光のビームプロファイルを示す。

【図44】(a)は従来のバイナリーオプティクスの構造を示す模式的平面図、(b)はその断面図。

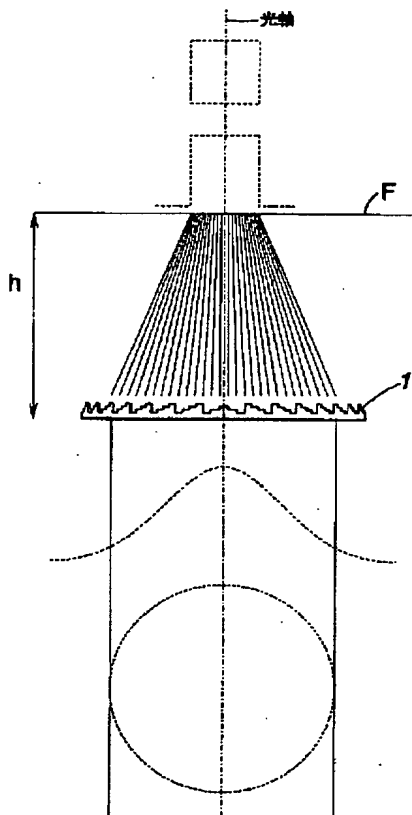
【符号の説明】

1、2 バイナリーオプティクス

11 直線状パターン of 回折格子を有するバイナリーオプティクス

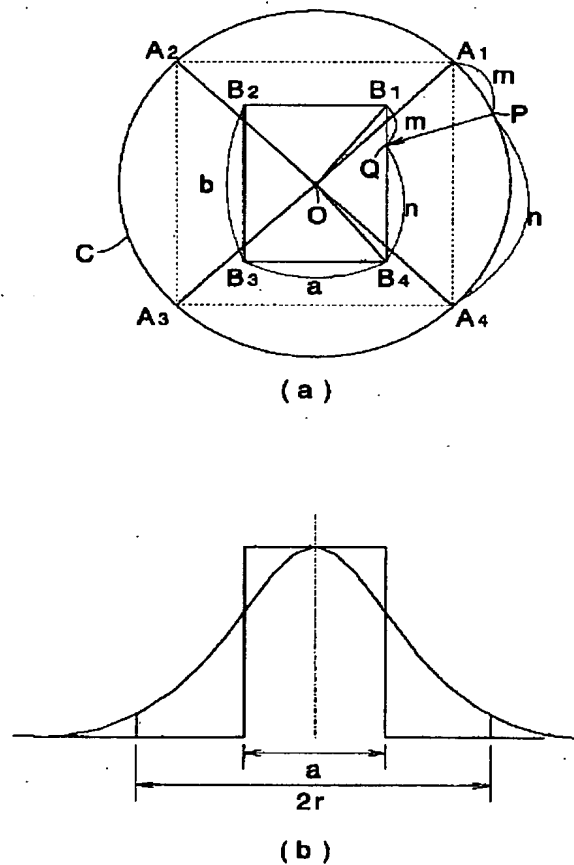
- 1 2 曲線状パターンの回折格子を有するバイナリーオプティクス
- 1 4、1 5 曲線状パターンの回折格子を有するバイナリーオプティクス
- 1 6 ビームスポット
- 2 1 バイナリーオプティクス
- 2 2 位置Sに於けるビームプロフィール
- 2 3、2 4 バイナリーオプティクス
- 2 5 ビームプロフィール
- 2 6 マスク
- 2 6 a 開口
- 2 7 集光レンズ
- 2 8 マスク
- 2 8 a 開口
- 2 9 集光レンズ
- 3 1、3 2 バイナリーオプティクス
- 3 1 a 繰り返し要素

【図 1】



- 3 3 集束レンズ
- 4 1 バイナリーオプティクス
- 4 1 a マトリクス要素
- 5 1、5 2 バイナリーオプティクス
- 5 3 レンズ
- 5 4 プレート
- 5 4 a 開口
- 5 5 マスク
- 6 1、6 3、6 5 バイナリーオプティクス
- 10 6 7 集束レンズ
- 7 1、7 2 バイナリーオプティクス
- 7 3 集光レンズ
- 7 4 開口
- 7 5 集光レンズ
- 7 6 マスク
- 8 1 バイナリーオプティクス
- 1 0 1 従来のバイナリーオプティクス

【図 2】



This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

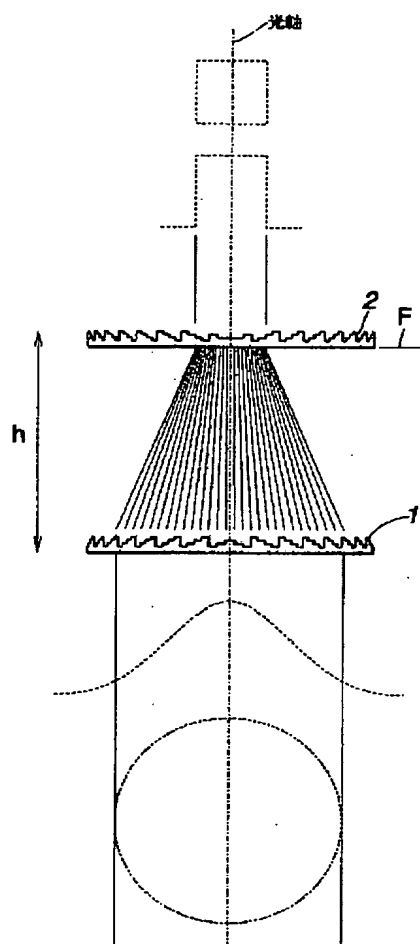
Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

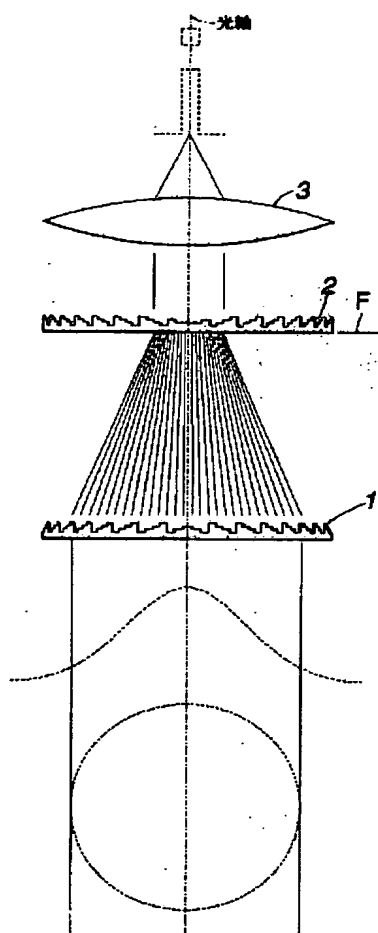
IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

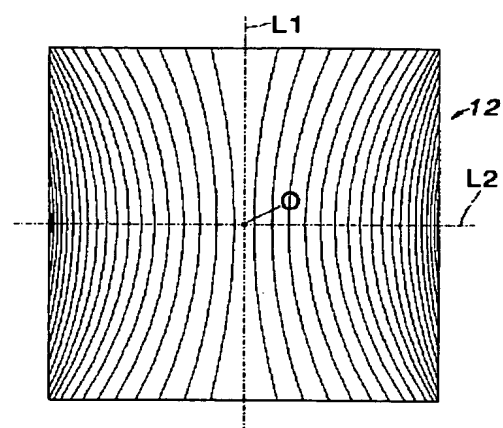
【図 3】



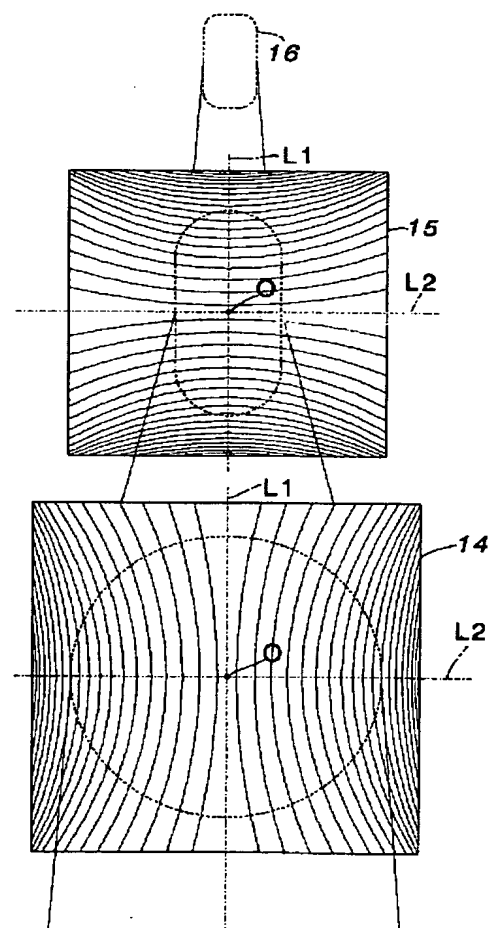
【図 4】



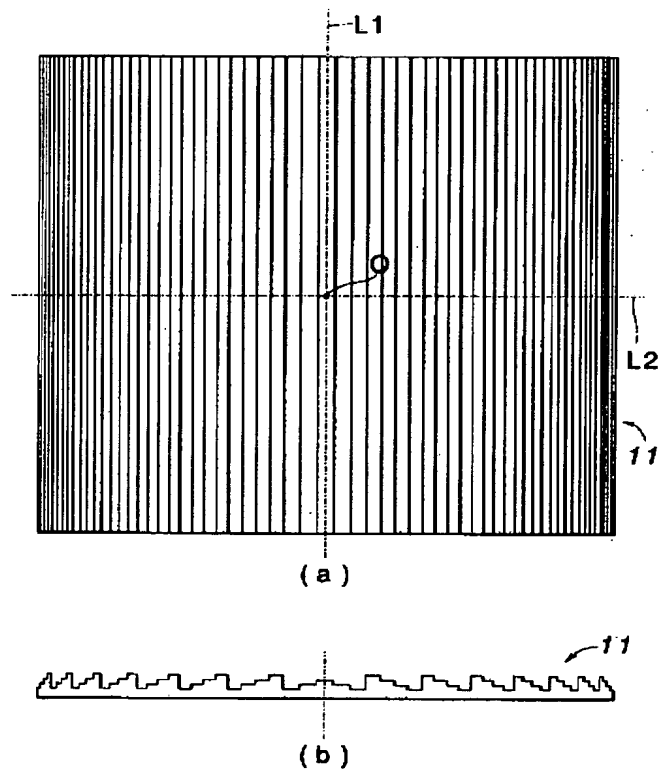
【図 6】



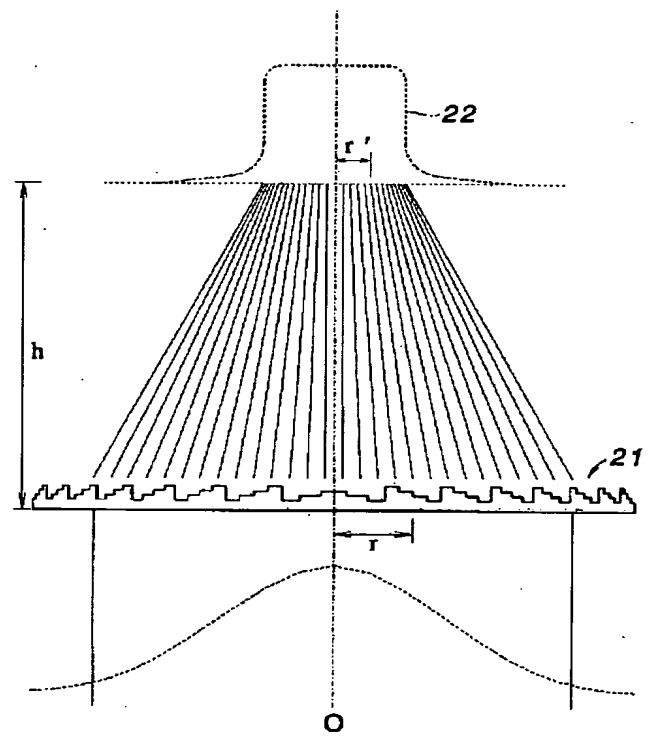
【図 7】



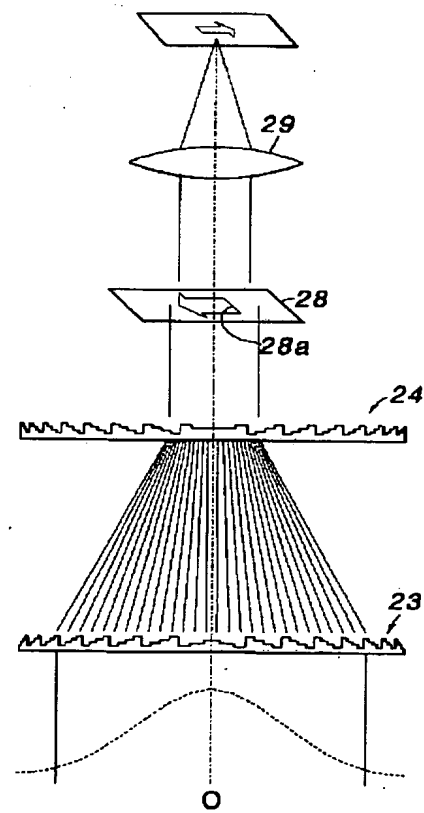
【図 5】



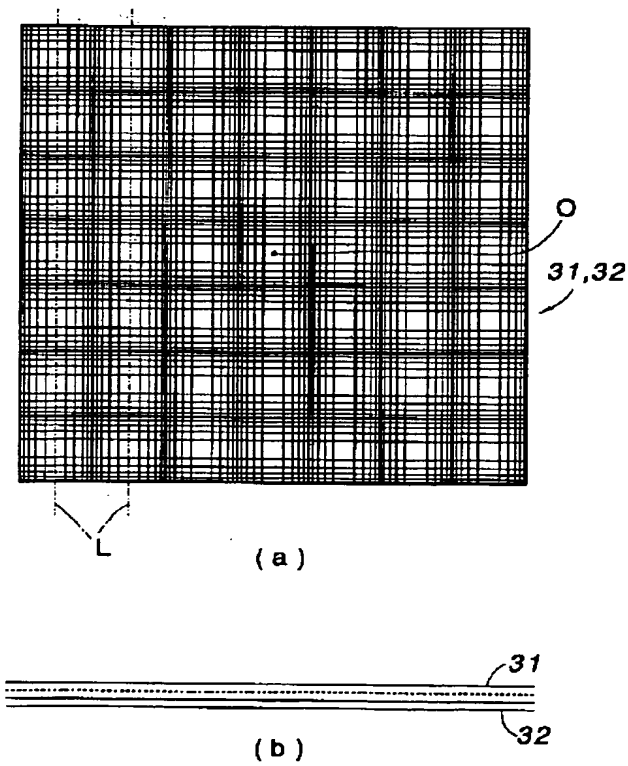
【図 8】



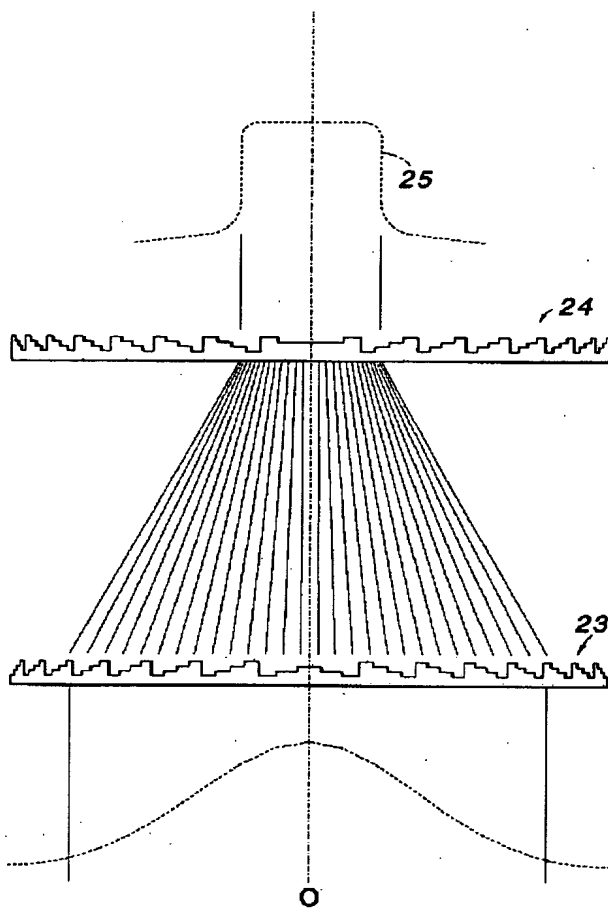
【図 11】



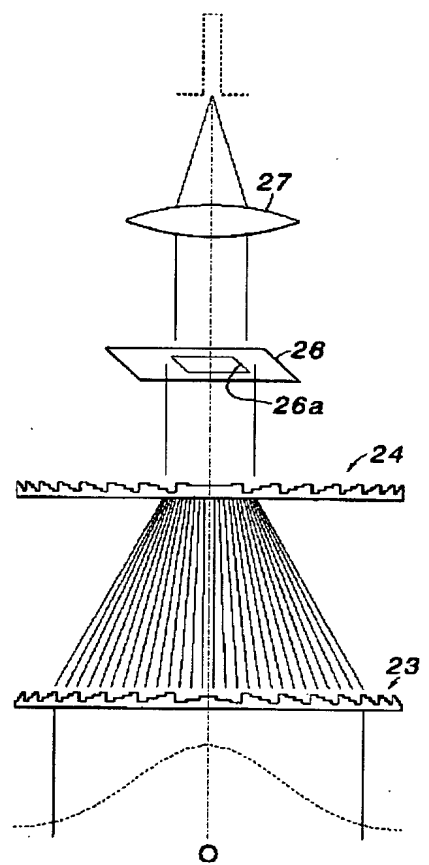
【図 14】



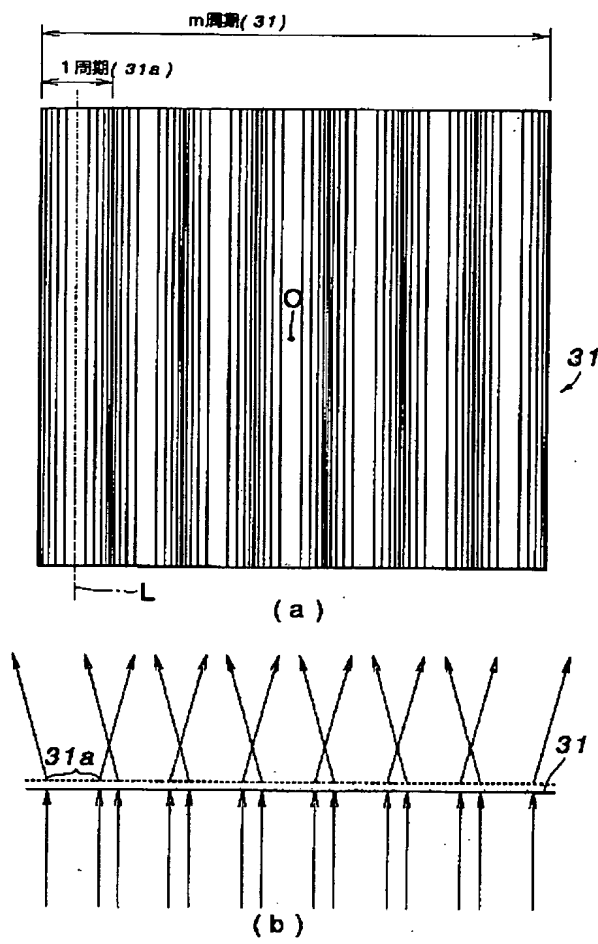
【図 9】



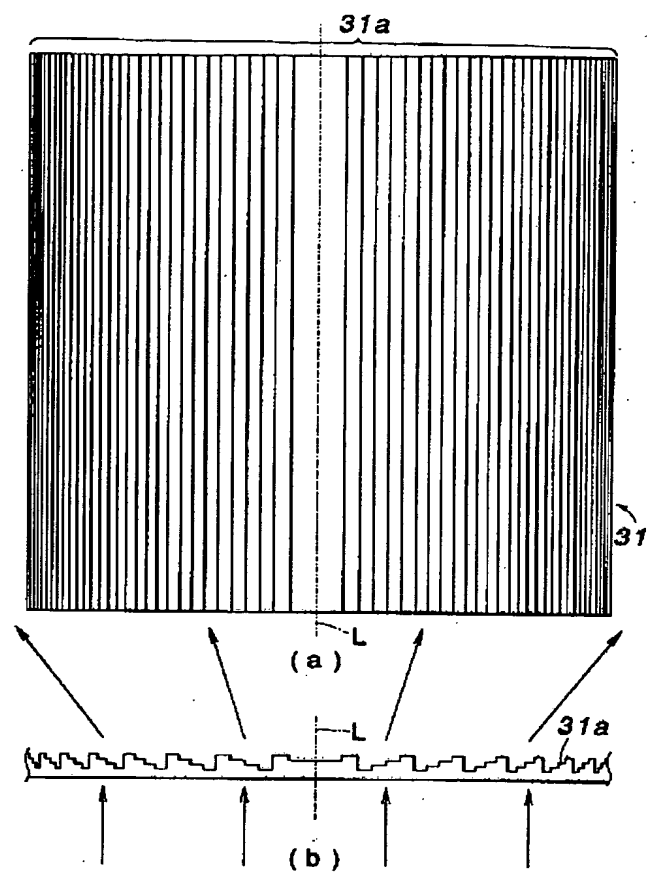
【図 10】



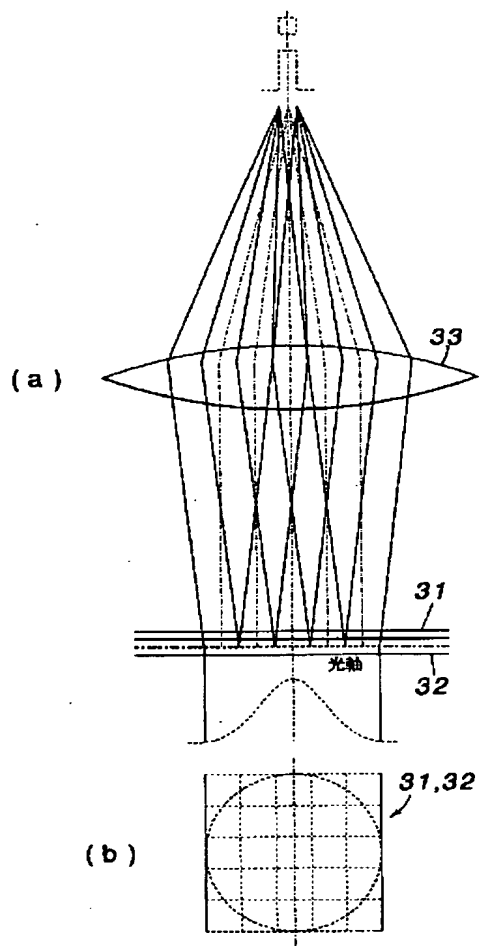
【図12】



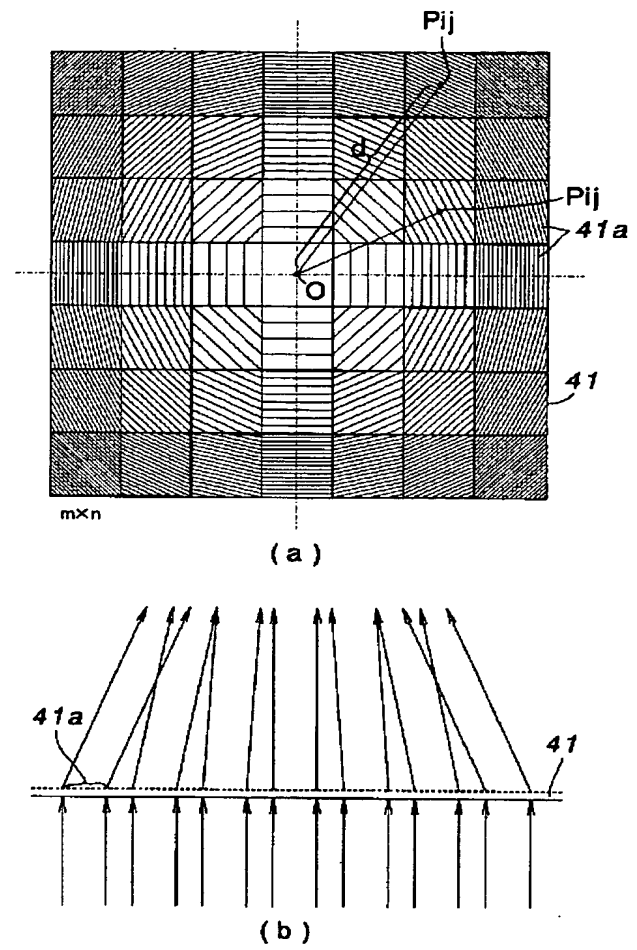
【図13】



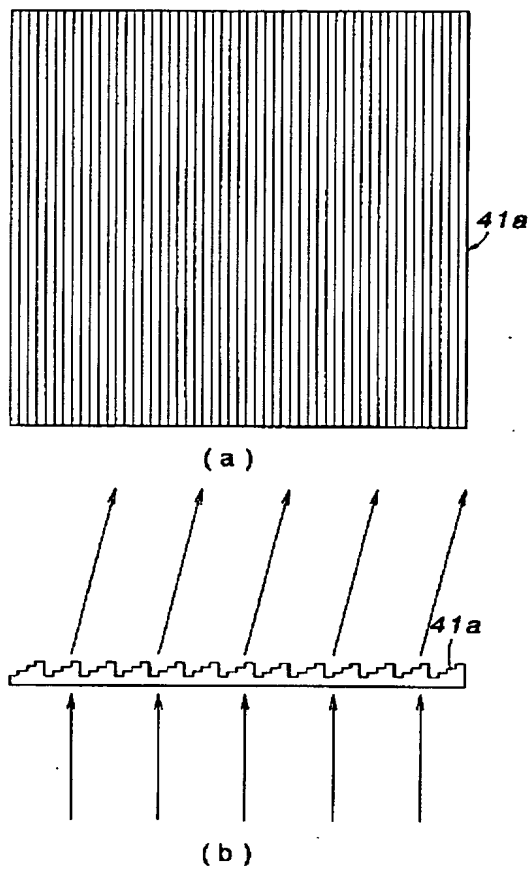
【図15】



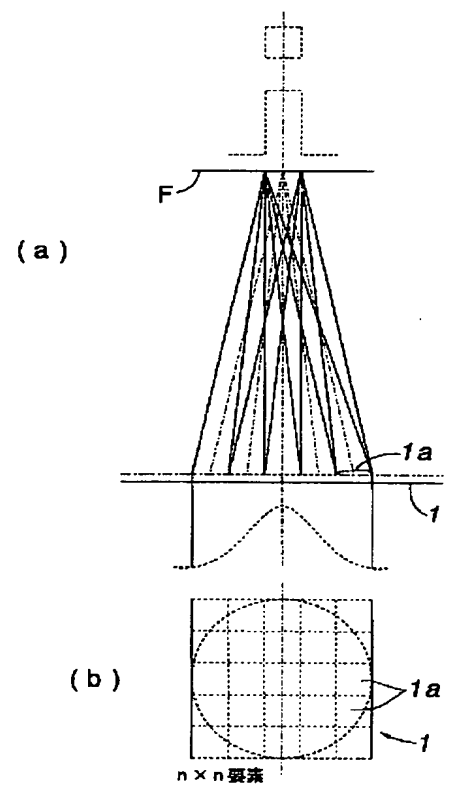
【図16】



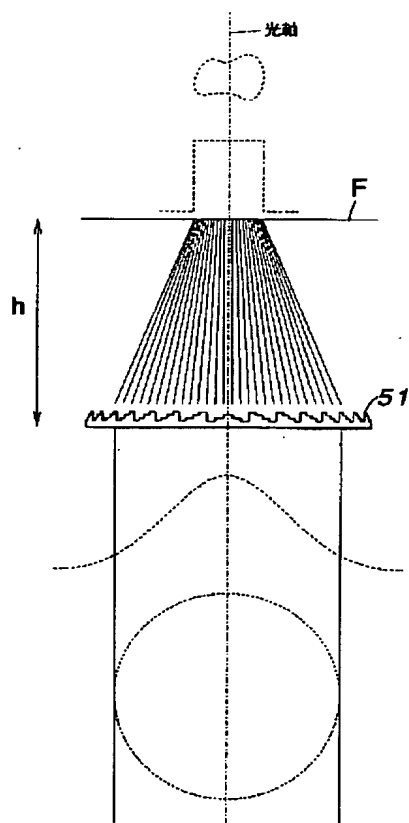
【図17】



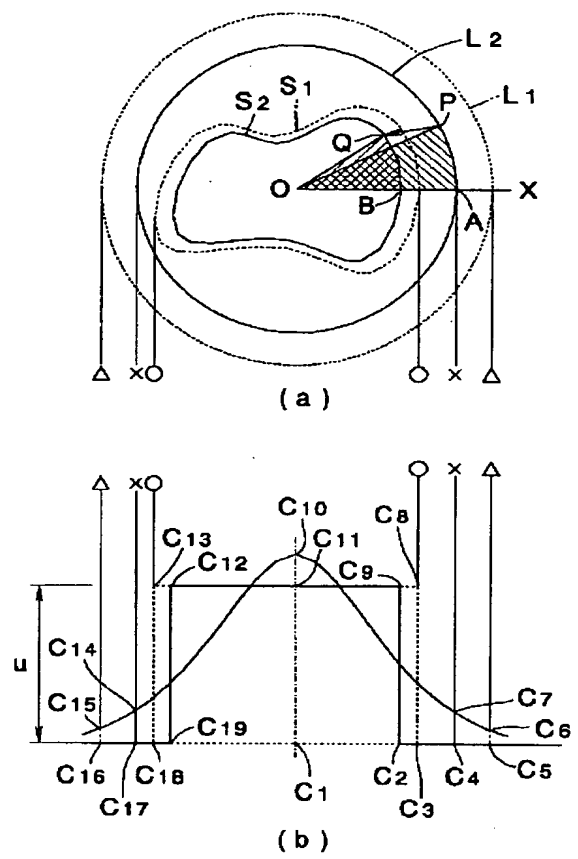
【図18】



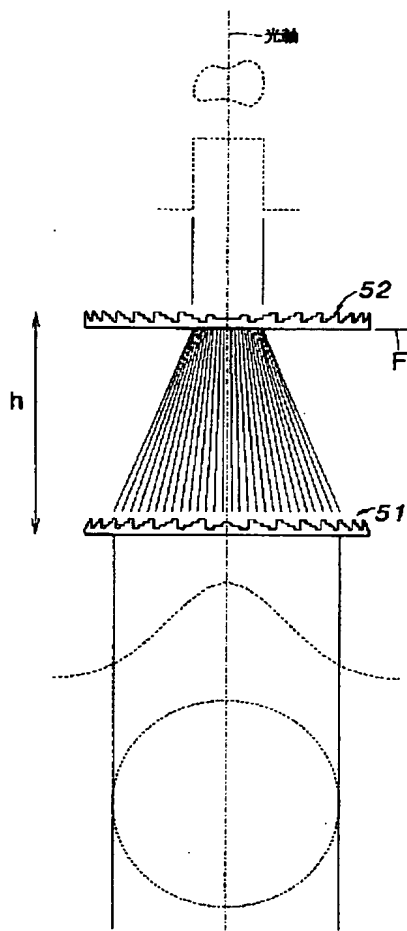
【図 19】



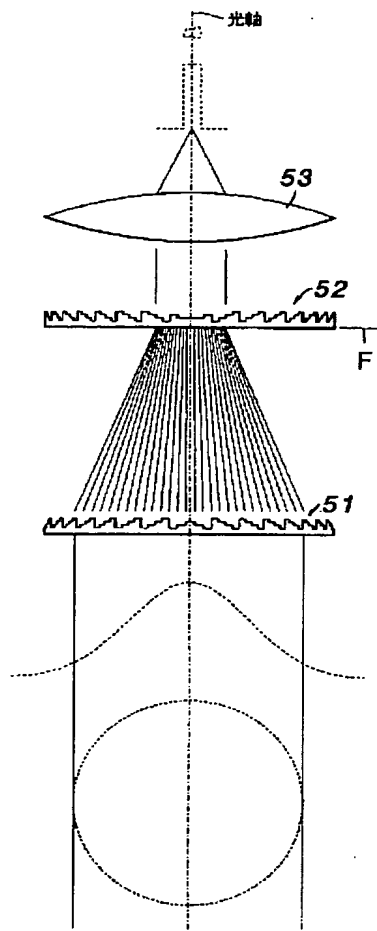
【図 20】



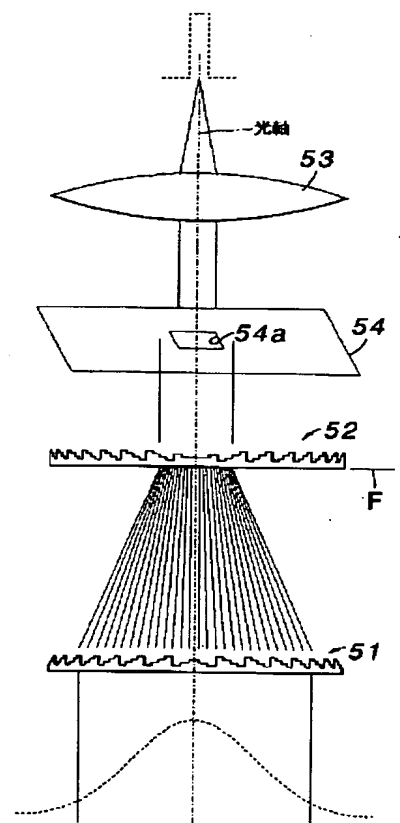
【図 21】



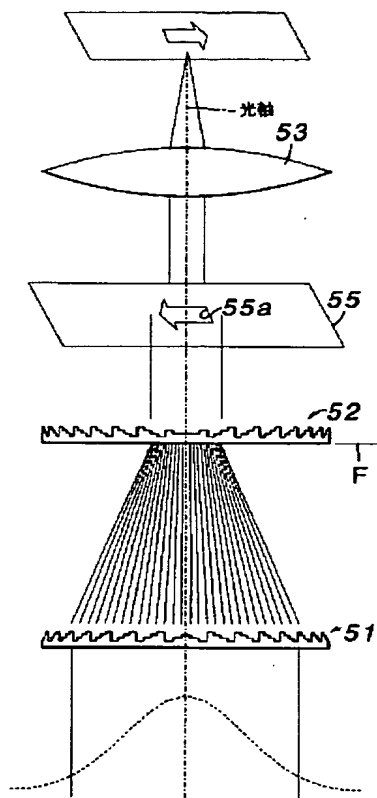
【図 22】



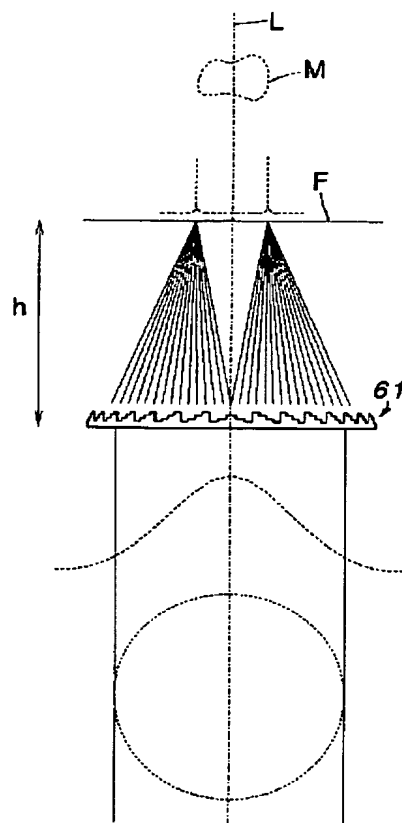
【図 23】



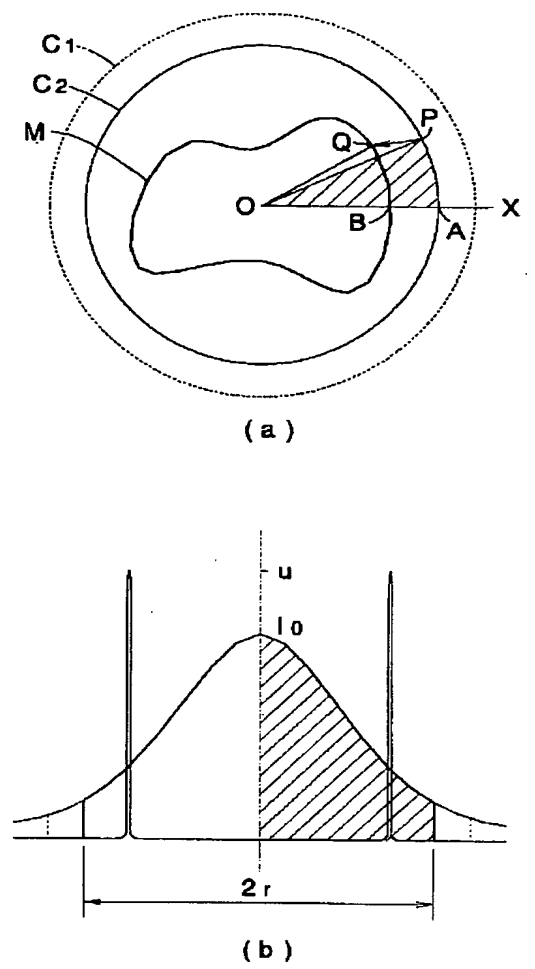
【図 24】



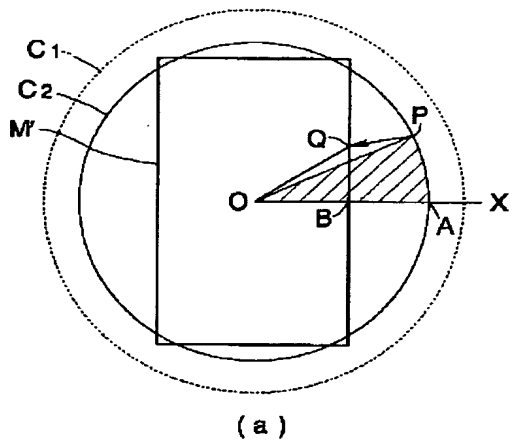
【図 25】



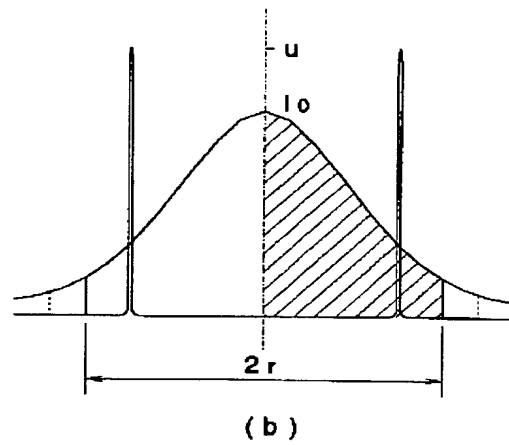
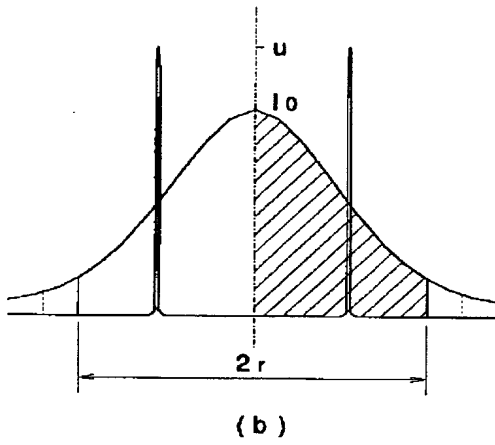
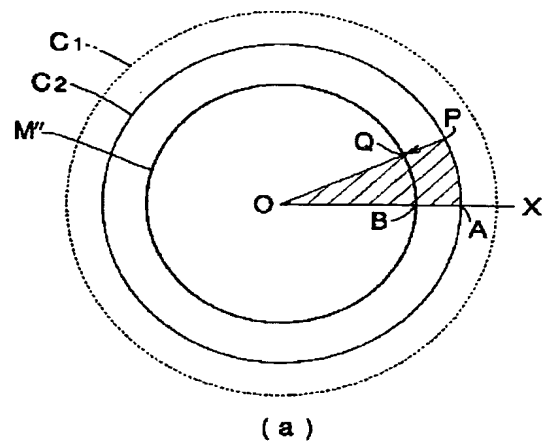
【図 26】



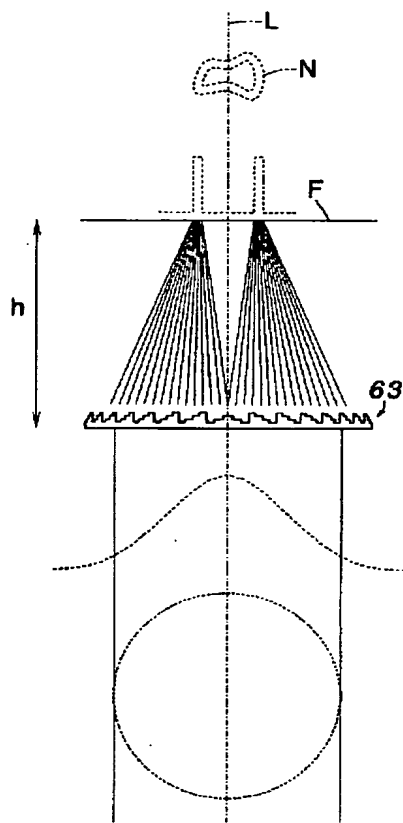
【図 27】



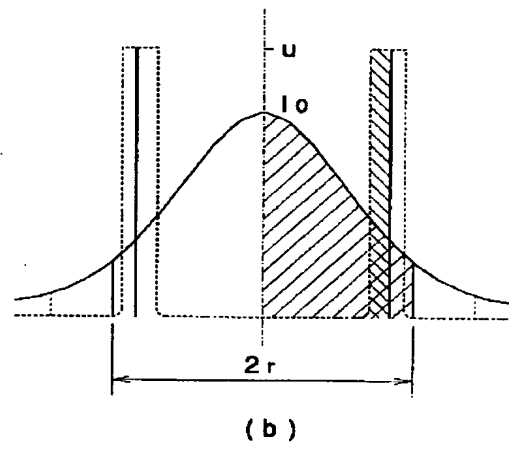
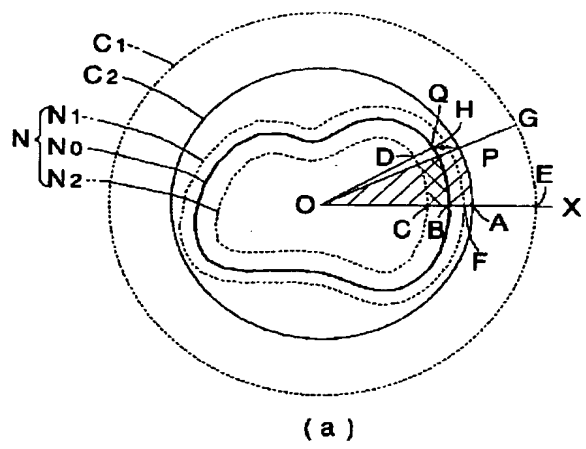
【図 28】



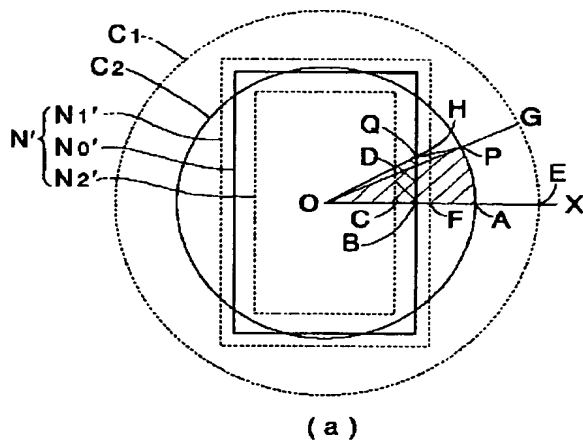
【図 29】



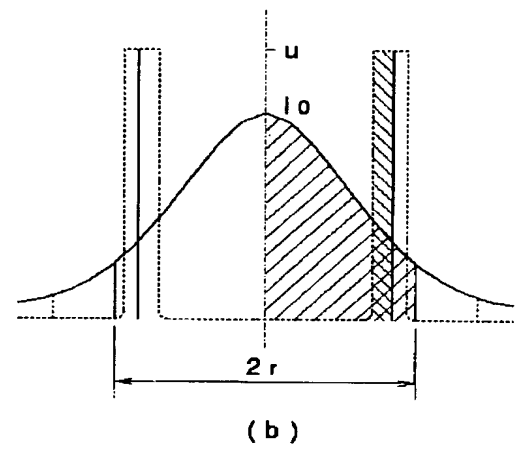
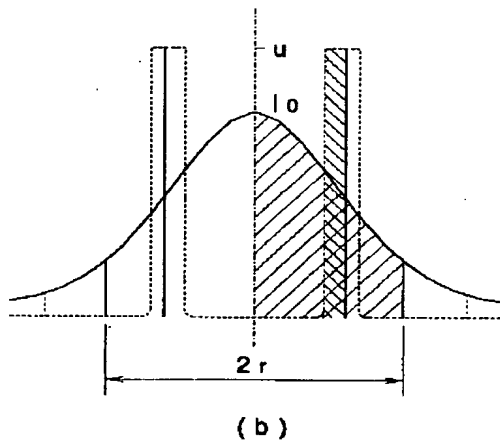
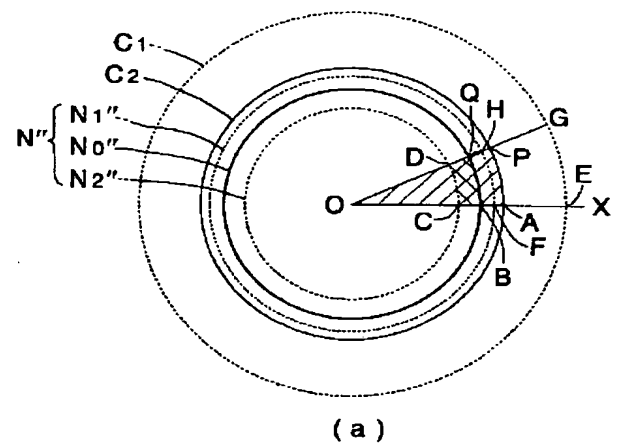
【図 30】



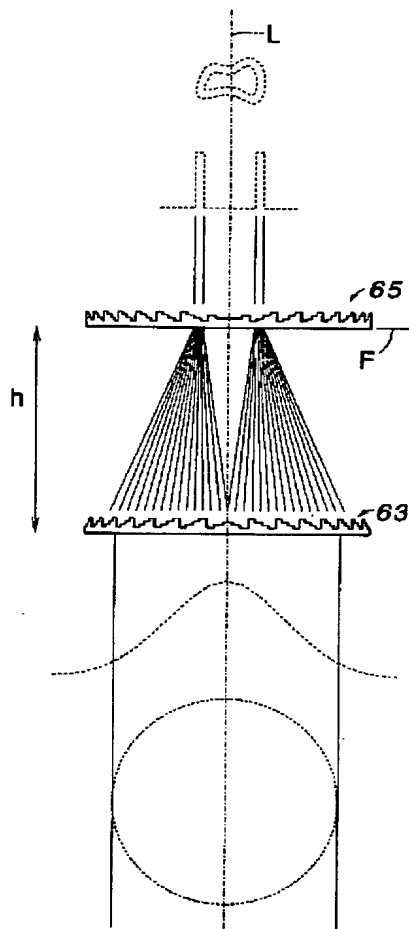
【図 3 1】



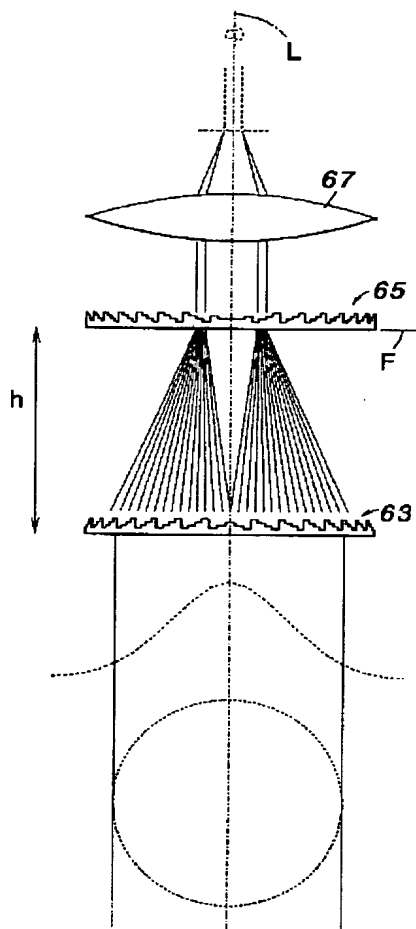
【図 3 2】



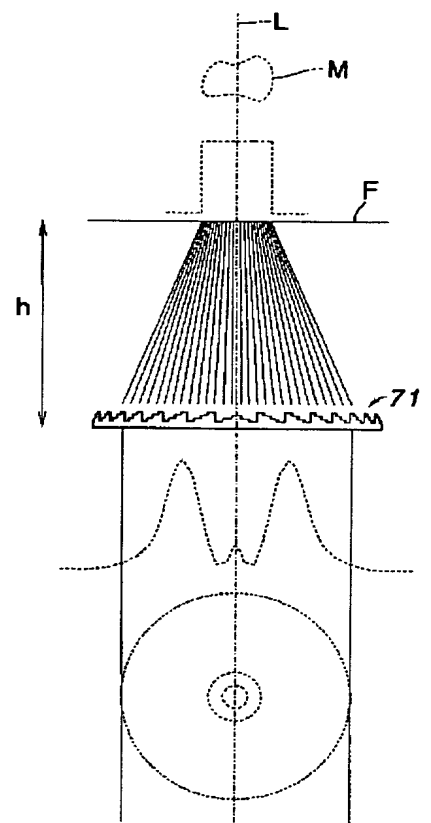
【図 33】



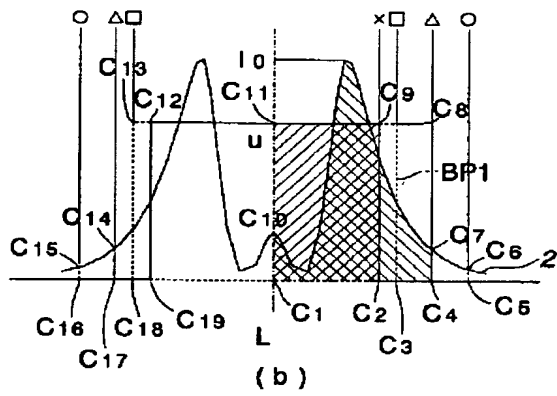
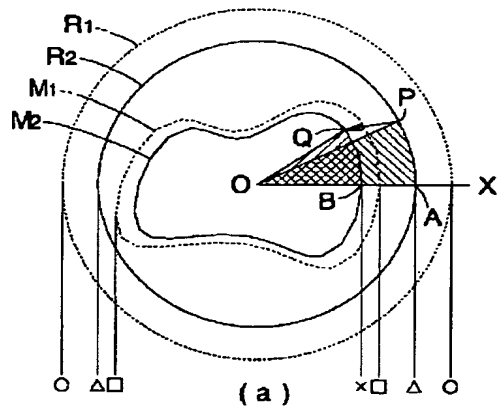
【図 34】



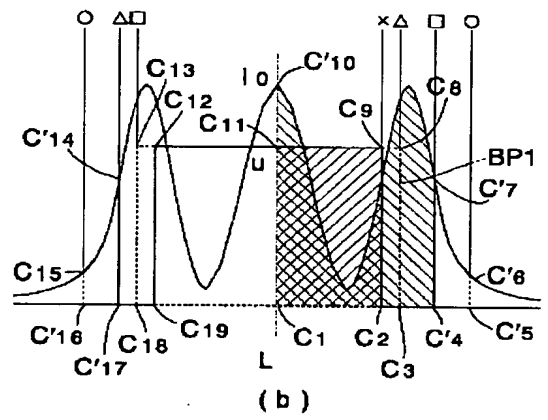
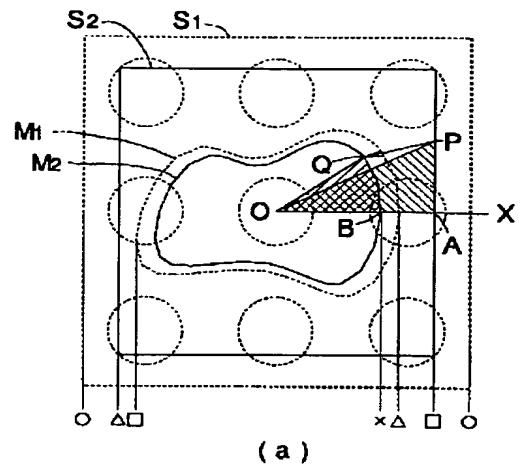
【図 35】



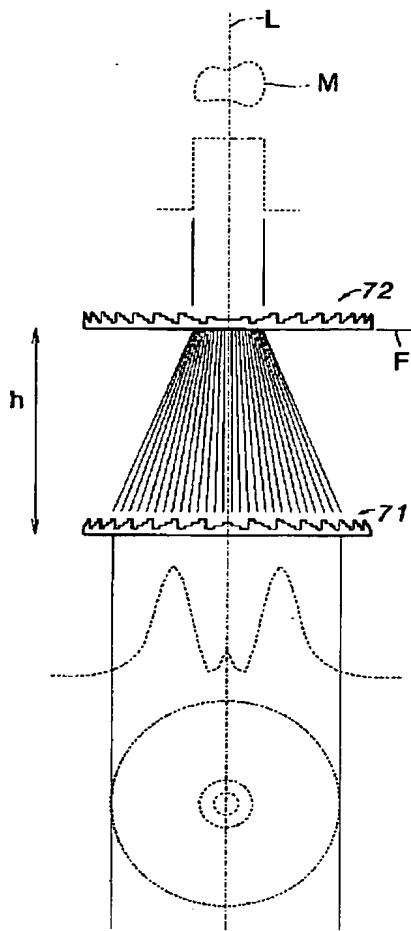
【図36】



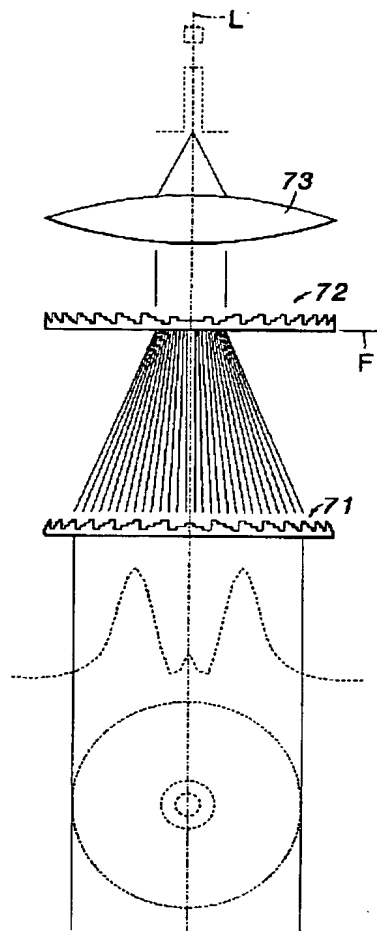
【図37】



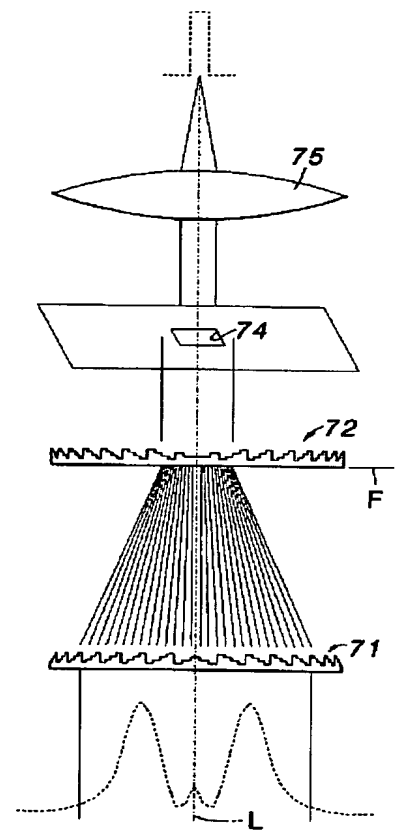
【図38】



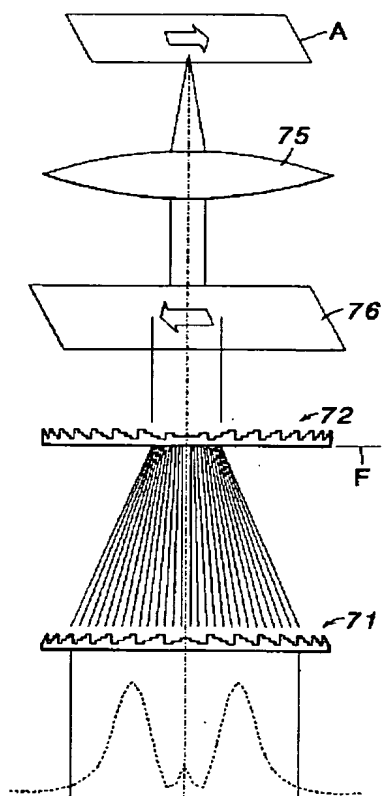
【図39】



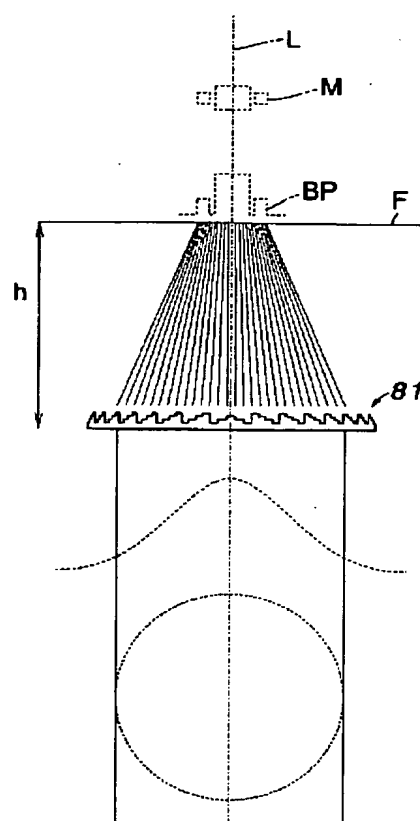
【図40】



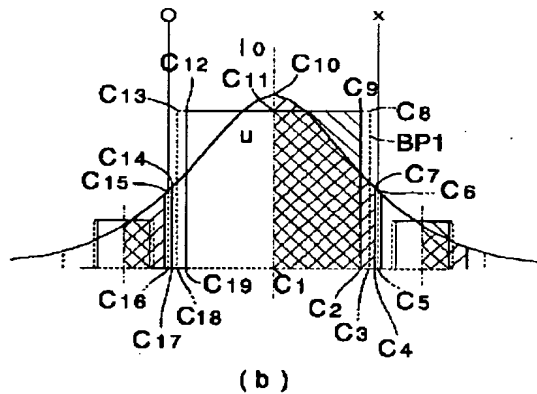
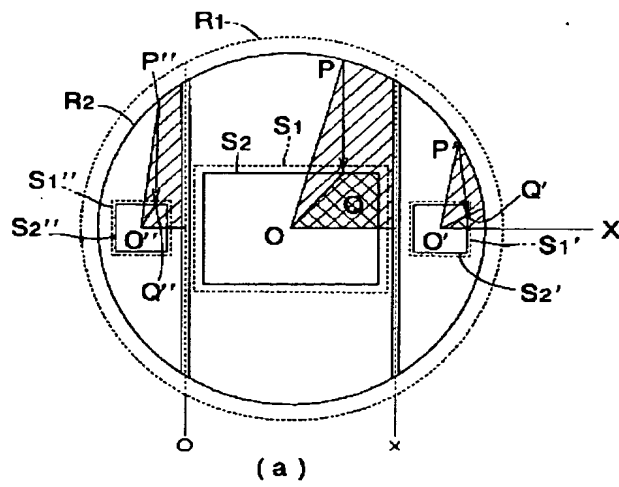
【図 4 1】



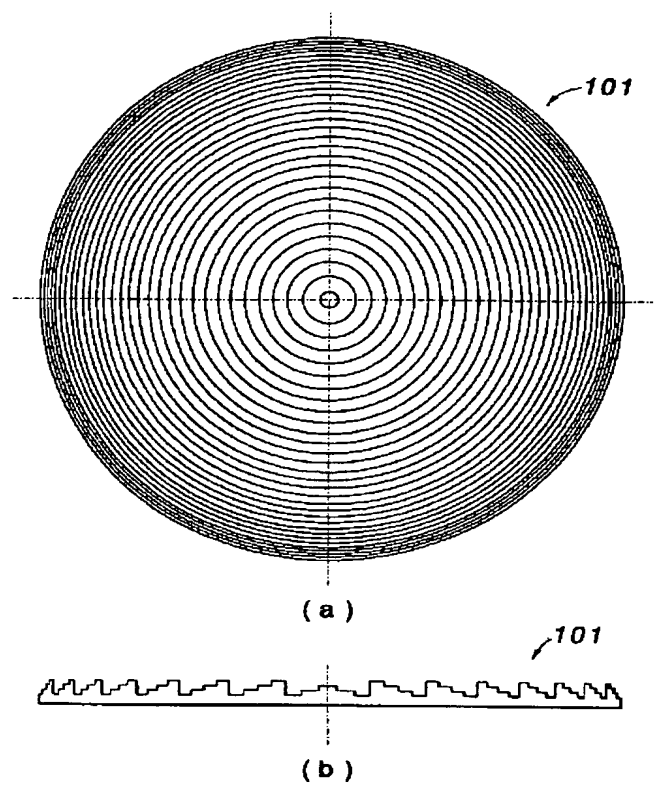
【図 4 2】



【図 43】



【図 44】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平6-304290
 (32)優先日 平 6 (1994)11月14日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)
 (31)優先権主張番号 特願平6-315946
 (32)優先日 平 6 (1994)11月24日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)
 (31)優先権主張番号 特願平6-315947
 (32)優先日 平 6 (1994)11月24日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

(31)優先権主張番号 特願平7-18582
 (32)優先日 平 7 (1995) 1月10日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)
 (31)優先権主張番号 特願平7-174442
 (32)優先日 平 7 (1995) 6月16日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)
 (31)優先権主張番号 特願平7-174443
 (32)優先日 平 7 (1995) 6月16日
 (33)優先権主張国 日本 (JP)
 (72)発明者 坂井 辰彦

富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技
 術開発本部内